

Universitat de Lleida  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària  
Enginyeria tècnica forestal, explotacions forestals

Treball pràctic tutelat

**Estudi de viabilitat tècnica i econòmica de  
gasificació de residus de serraria per a la generació  
elèctrica i tèrmica**

Autor: **Oriol Molló Manonelles**

Tutor: **Joan Ignasi Rosell Urrutia**

Setembre del 2009

## Agraïments

*Als meus pares, a ma germà,  
a la Christina i al meu tutor.*

## Resum

En aquest Projecte s'analitza la viabilitat de gasificació de residus de serraria per a l'obtenció d'energia tèrmica i elèctrica en una empresa tipus amb capacitat de processar anualment 2.800 m<sup>3</sup> de fusta en rol.

La tecnologia de gasificació de biomassa possibilita la revalorització energètica dels residus proporcionant un gas de síntesi amb poder calorífic que netejat i refredat és apte per a la generació elèctrica i tèrmica en motors de combustió. S'analitzen diferents possibilitats de recuperació energètica i es decideix utilitzar un generador acoblat a un motor Diesel. La planta es dimensiona per a treballar a plena càrrega a partir dels residus disponibles.

Els resultats de l'estudi de viabilitat manifesten que la gasificació de residus en la serraria és viable econòmicament si es consideren els ingressos per venda energètica i l'estalvi de combustible per l'aprofitament tèrmic.

# Índex general

<b>ÍNDEX GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDEX DE TAULES.....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDEX DE GRÀFICS.....</b>	<b>5</b>
<b>1 INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>6</b>
<b>2 MEMÒRIA.....</b>	<b>8</b>
2.1 OBJECTE DEL PROJECTE .....	8
2.2 DADES DE PARTENÇA I BASES DEL PROJECTE.....	9
2.2.1 Empresa tipus.....	9
2.2.2 Descripció del procés productiu d'una serreria.....	10
2.2.3 Residus de fusta generats .....	15
2.2.4 Consum energètic de la serraria.....	18
2.2.5 Distribució del temps de treball de la serraria.....	20
2.3 LA BIOMASSA .....	21
2.3.1 Caracterització de la biomassa.....	21
2.3.2 Els residus de la indústria forestal .....	22
2.4 LA REVALORITZACIÓ ENERGÈTICA DELS RESIDUS .....	27
2.4.1 Aspectes socioeconòmics .....	28
2.4.2 Aspectes mediambientals .....	28
2.4.3 Vies de revalorització energètica.....	29
2.4.4 La gasificació .....	31
2.4.5 Antecedents .....	31
2.4.6 Teoria de la gasificació.....	32
2.4.7 Principals elements de la gasificació.....	34
2.4.8 Tipus de gasificadors .....	35
2.4.9 Barreres tècniques, comercials i mediambientals .....	41
2.4.10 La recuperació energètica .....	43
2.5 TECNOLOGIA EMPRADA .....	47
2.5.1 Requisits del sistema de gasificació.....	47
2.5.2 Criteris per a la tria del sistema de gasificació.....	48
2.5.3 Elecció del sistema de gasificació .....	48
2.5.4 Funcionament i operació del gasificador .....	49
2.5.5 Emplaçament i superfície ocupada .....	50
2.5.6 Sistemes i equips .....	50
2.5.7 Descripció del procés de gasificació .....	51
2.5.8 Entrades i sortides del sistema.....	56
2.5.9 Generació elèctrica i tèrmica .....	57



2.6	RESIDUS DE LA GASIFICACIÓ .....	59
2.6.1	<i>Cendres del gasificador</i> .....	59
2.6.2	<i>Partícules sòlides</i> .....	60
2.6.3	<i>Quitrans</i> .....	61
2.6.4	<i>Gasos de combustió</i> .....	62
2.7	PRESSUPOST .....	64
2.7.1	<i>Previsió de costos</i> .....	64
2.7.2	<i>Previsió d'ingressos</i> .....	65
2.7.3	<i>Estalvi en gasoil</i> .....	66
2.8	ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICO-FINANCERA .....	67
2.8.1	<i>Paràmetres del Projecte d'inversió</i> .....	67
2.8.2	<i>Criteris de rendibilitat</i> .....	69
2.8.3	<i>Anàlisi de sensibilitat</i> .....	70
3	<b>RESULTATS</b> .....	<b>81</b>
4	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>83</b>
5	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>85</b>
5.1	RECURSOS BIBLIOGRÀFICS .....	85
5.2	REFERÈNCIES .....	85
6	<b>ANNEXOS</b> .....	<b>87</b>
6.1	UNITATS DE MESURA .....	87
6.1.1	<i>Magnituds fonamentals</i> .....	87
	<i>Magnituds derivades:</i> .....	88
6.2	NORMATIVA APLICABLE, MARC LEGAL I POLÍTIQUES .....	90
6.2.1	<i>Normativa aplicable i marc legal</i> .....	90
	<i>A nivell nacional</i> .....	90
	<i>A nivell europeu</i> .....	90
6.2.2	<i>Polítiques</i> .....	91
	<i>A nivell nacional</i> .....	91
	<i>A nivell europeu</i> .....	91
6.3	CARACTERITZACIÓ ENERGÈTICA DELS RESIDUS DE SERRARIA .....	92
6.3.1	<i>Potencial energètic i anàlisi dels residus</i> .....	92
6.3.2	<i>La fusta i derivats de Pinus sylvestris</i> .....	92
6.3.3	<i>L'escorça de Pinus sylvestris</i> .....	93
6.4	CATÀLEG TECNOLÒGIC .....	94
6.5	CÀLCULS .....	98
6.5.1	<i>Càlcul del poder calorífic de la biomassa</i> .....	98
6.5.2	<i>Composició i càlcul del PCI del gas de síntesi</i> .....	101
6.5.3	<i>Càlcul de la potència disponible en la biomassa</i> .....	102

6.5.4	<i>Càlcul de la potència del gas pobre com a combustible.....</i>	<i>103</i>
6.5.5	<i>Càlcul de l'eficiència del gasificador .....</i>	<i>104</i>
6.5.6	<i>Potència subministrada pel motor-generator .....</i>	<i>104</i>
6.5.7	<i>Càlcul de l'eficiència del motor-generator.....</i>	<i>106</i>
6.6	<b>CÀLCUL DE LA TARIFA ELÈCTRICA .....</b>	<b>107</b>
6.6.1	<i>El règim especial de generació elèctrica.....</i>	<i>107</i>
6.6.2	<i>Estructura de la retribució.....</i>	<i>107</i>
6.6.3	<i>Tarifes regulades i primes.....</i>	<i>111</i>
6.6.4	<i>Retribució per la venda d'energia .....</i>	<i>112</i>
6.6.5	<i>Actualitzacions i revisions de preus i primes.....</i>	<i>112</i>

## Índex de taules

TAULA 1A. CONSUM D'ENERGIA PRIMÀRIA A ESPANYA EN KTEP, 1990-2007.....	6
TAULA 1B. CONSUM D'ENERGIES RENOVABLES A ESPANYA EN KTEP, 1990-2010.....	7
TAULA 2.2.1A. ESTRUCTURA DE LA INDÚSTRIA DE SERRARIA A ESPANYA.....	9
TAULA 2.2.1B. CARACTERÍSTIQUES DE L'INDÚSTRIA DE SERRARIA.....	9
TAULA 2.2.3.2A. MITJANA DE RESIDUS GENERATS PER EMPRESA.....	16
TAULA 2.2.3.2B. VOLUM TOTAL DE RESIDUS GENERATS.....	16
TAULA 2.2.3.4. MASSA TOTAL DE RESIDUS GENERATS.....	17
TAULA 2.2.4.2A NECESSITATS ESPECÍFIQUES D'ENERGIA.....	19
TAULA 2.2.4.2B ESTIMACIÓ DEL CONSUM ENERGÈTIC DE LA SERRARIA.....	19
TAULA 2.2.5.1. DISTRIBUCIÓ DEL TEMPS DE TREBALL A LA SERRARIA.....	20
TAULA 2.3.2.1. PCS EN SEC COMPONENTS FUSTA.....	22
TAULA 2.6.1A. COMPOSICIÓ DE LES CENDRES.....	59
TAULA 2.6.1B. FLUX MÀSSIC DE CENDRES.....	60
TAULA 2.6.2. FLUX MÀSSIC DE PARTÍCULES SÒLIDES.....	61
TAULA 2.6.3. FLUX MÀSSIC DE QUITRANS.....	62
TAULA 2.6.4. FLUX MÀSSIC DELS GASOS DE COMBUSTIÓ.....	63
TAULA 2.6.4.1 VALORS LÍMITS EMISSIONS SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PARTÍCULES.....	63
TAULA 2.7.1.2. DESPESES D'EXPLOTACIÓ.....	64
TAULA 6.3.2A ANÀLISI ELEMENTAL I IMMEDIAT DE LA FUSTA.....	93
TAULA 6.3.2B ANÀLISI ELEMENTAL I IMMEDIAT DE L'ESCORÇA.....	93
TAULA 6.4A. EQUIP DE GASIFICACIÓ GASBI.....	94
TAULA 6.4B. EQUIP DE GASIFICACIÓ GUASCOR.....	95
TAULA 6.4C. EQUIP DE GASIFICACIÓ EQTEC IBERICA.....	96
TAULA 6.4D. EQUIP DE GASIFICACIÓ TAIM WESER.....	97
TAULA 6.5.2. COMPOSICIÓ DEL GAS DE SÍNTESI.....	102
TAULA 6.6.3. FLUX MÀSSIC DE BIOMASSA.....	103
TAULA 6.6.2.1A. COMPLEMENT POTÈNCIA REACTIVA.....	109
TAULA 6.6.2.1B. DISCRIMINACIÓ HORÀRIA.....	109
TAULA 6.6.3. RETRIBUCIÓ DE L'ELECTRICITAT PRODUÏDA PER COGENERACIÓ AMB BIOMASSA.....	112

## Índex de gràfics

GRÀFIC 2.2.2.5 FLUX DEL PROCÉS DE SERRA DE LA FUSTA.....	14
GRÀFIC 2.4.3 PROCESSOS DE TRANSFORMACIÓ ENERGÈTICA DE LA BIOMASSA. ....	30
GRÀFIC 2.4.8.1 – ESQUEMA GASIFICADOR DOWNDRAFT .....	38
GRÀFIC 2.4.10.5 RENDIMENT ENERGÈTIC .....	46
GRÀFIC 2.5.7 – ESQUEMA DEL PROCÉS DE GASIFICACIÓ. ....	51
GRÀFIC 2.5.8. DIAGRAMA D'ENTRADES I SORTIDES DEL SISTEMA .....	56
GRÀFIC 6.6.1. RELACIÓ PCI – CONTINGUT D'HUMITAT .....	99

## 1 Introducció

La demanda energètica espanyola, manté des de fa quinze anys un notable augment. Actualment a l'estat, més del 81% del nostre abastament energètic prové d'energies fòssils, un 12% d'energia nuclear i tant sols el 7% d'energies renovables. Aquest 93% no renovable comporta importants implicacions mediambientals i una forta dependència del mercat exterior.

**Taula 1a. Consum d'energia primària a Espanya en ktep, 1990-2007.**

	1990		2000		2004		2007	
	ktep	% total	ktep	%	ktep	% total	ktep	% total
<b>Petroli</b>	47741	52,01	64663	51,46	71055	49,97	74533	48,92
<b>Gas</b>	5000	5,45	15223	12,11	24672	17,35	32147	21,10
<b>Carbó</b>	18974	20,67	22137	17,62	21034	14,79	19198	12,60
<b>Nuclear</b>	14138	15,40	16211	12,90	16576	11,66	15874	10,42
<b>Renovables</b>	5983	6,52	7046	5,61	9124	6,42	10607	6,96
<b>Saldo</b>	-36	-0,04	382	0,30	-261	-0,18	0	0,00
<b>Total</b>	91800		125662		142200		152359	

Font: Elaboració pròpia i IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (1)

La excessiva i creixent dependència energètica exterior, propera al 80% els darrers anys, i la necessitat de preservar el medi ambient i assegurar un desenvolupament sostenible, obliguen al foment de fórmules per a un ús eficient de l'energia i la utilització de fonts netes. Per tant, el creixement substancial de les fonts renovables, juntament a una important millora de la eficiència energètica, respon a motius d'estratègia econòmica, social i mediambiental.

El Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000-2010 i més tard la seva revisió, el PER, Plan de Energías Renovables 2005-2010, pretenen fomentar mesures per a un ús eficient de l'energia i la utilització de fonts energètiques renovables, ambdós estableixen una contribució de les renovables al consum energètic del 12,11% per al 2010, entre les quals destaca l'ús de biomassa o productes obtinguts a partir de matèria orgànica.

La major de les dificultats amb que ens topem alhora d'utilitzar energies renovables és la impossibilitat d'emmagatzemar el recurs que les conté i per tant poder planificar i estimar la producció futura. La biomassa n'és una excepció car és possible valorar la seva producció i emmagatzemar-la fins al moment en que es desitgi consumir.

L'ús de la biomassa com a recurs energètic en lloc dels combustibles fòssils comunament utilitzats suposa avantatges mediambientals de primer ordre com són la disminució d'emissions contaminants, un cicle neutre de CO<sub>2</sub> sense contribució a l'efecte hivernacle entre d'altres. Els residus d'aprofitaments forestals i cultius agrícoles, els residus industrials i els residus animals i humans constitueixen un romanent que revaloritzat, esdevé una font potencial d'energia.

El baix preu dels recursos biomàssics i el seu valor energètic és un atractiu per a l'ús en aplicacions energètiques ja pot suposar un estalvi econòmic en combustibles alternatius o uns quantiosos ingressos pecuniaris de la venda d'energia a altres consumidors.

**Taula 1b. Consum d'energies renovables a Espanya en ktep, 1990-2010.**

	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2004</b>	<b>2007</b>	<b>2010*</b>
<b>Minihidràulica (&lt;10MW)</b>	184	376	417	333	575
<b>Hidràulica (&lt;10MW)</b>	2019	2159	2297	1951	2536
<b>Eòlica</b>	1	403	1338	2385	3914
<b>Biomassa</b>	3753	3630	4107	4574	9208
<b>Biogàs</b>	0	125	275	339	455
<b>Biocarburants</b>	0	51	228	159	2200
<b>R.S.U.</b>	0	261	395	404	395
<b>Solar tèrmica</b>	22	31	54	95	376
<b>Solar fotovoltaica</b>	0	2	5	158	52
<b>Solar termoelèctrica</b>	0	0	0	0,7	509
<b>Geotèrmica</b>	3	8	8	8	8
<b>Consum energies renovables</b>	5982	7046	9124	10406,7	20228
<b>Consum energia primària</b>	91800	125662	141567	147693	167100
<b>Consum renovables/primària (%)</b>	6,52%	5,61%	6,45%	7,05%	12,11%

\* Objectiu PER 2005-2010.

Font: IDAE (1).

El procés de revalorització dels residus comporta una transformació que pot ser de caire biològic o termoquímic, en el que s'obté un producte gasós o líquid amb valor energètic. En aquest document es pretén avaluar la viabilitat de gasificació de residus com a solució per a la revalorització de residus i subproductes de la indústria forestal de primera transformació.



## 2.2 Dades de partença i Bases del Projecte

El Projecte es centra en analitzar la viabilitat tècnica i econòmica de la gasificació de residus de serra per a la producció d'energia elèctrica i tèrmica en una serraria tipus. Les dades de partença a considerar són els paràmetres de producció de l'empresa tipus, aquestos ens serviran per a calcular la quantitat de residus generats.

### 2.2.1 Empresa tipus

La empresa tipus s'ha dissenyat en base a dades obtingudes per CONEMAC, Confederación de Empresarios de la Madera y Corcho, al 1995 a partir del DIRCE, Directorio Central de Empresas.

**Taula 2.2.1a. Estructura de la indústria de serraria a Espanya.**

Capacitat m <sup>3</sup> anuals de fusta en rol	nombre d'empreses	percentatge sobre el total
inferior a 5.000	2800	82,52
de 5.000 de 9.000	328	9,67
10.000 a 14.000	146	4,30
15.000 a 19.000	68	2,00
de 20.000 a 29.000	42	1,24
superior a 30.000	9	0,27
<b>Total</b>	<b>3.393</b>	<b>100</b>

Font: CONEMAC, Confederación Española de Empresarios de la Madera y el Corcho.

De la taula se'n desprèn el caràcter minifundista de la indústria serrera espanyola amb un 82,5 % de les empreses amb una capacitat de processar menys de 5.000 m<sup>3</sup> anuals de fusta en rol, i on el 92,19 % de les empreses no sobrepassa els 9.000 m<sup>3</sup>/any.

La empresa tipus busca representar el gruix de serraries de menor capacitat productiva del conjunt empresarial i es defineix a partir de les dades de mitjana de les característiques de la indústria de serraria obtingudes per CONEMAC i publicades per Vignote, S. at al. (2).

**Taula 2.2.1b. Característiques de l'indústria de serraria.**

	total del sector (m <sup>3</sup> /any)	mitjana (m <sup>3</sup> /any)
<b>Consum de fusta en rol s. escorça</b>	5.476.000	2.800
<b>Producció de fusta serrada</b>	3.080.000	1.630
<b>Residus de fusta</b>	2.077.000	1.062
<b>Residus d'escorça</b>	880.000	450

Font: CONEMAC.



A quan al tipus de fusta, segons Tolosana et al. (3), el 79% de la fusta demandada al 1995 en el sector de la fusta serrada és de coníferes i només el 21% de frondoses. Dins de les coníferes, l'espècie amb més demanda és la de pi roig (*Pinus sylvestris*).

En base a aquestes dades, s'escull el pi roig (*Pinus sylvestris*) com espècie en la producció de fusta serrada de l'empresa tipus. Aquesta dada és important per al càlcul del PCI i dels diferents rendiments del procés de serra i generació de residus.

## **2.2.2 Descripció del procés productiu d'una serreria**

L'aserrat de fusta és una de les activitats menys complexa de les indústries mecàniques forestals. Compren un cert nombre d'operacions que van des de la manipulació i transport dels troncs a l'assecat de la fusta, a la seva selecció i classificació.

### **2.2.2.1 Selecció de troncs i escorçat**

A l'arribada al dipòsit de troncs de la serraria, els troncs se seleccionen i emmagatzemen en funció a la seva espècie, diàmetre, longitud i ús final. S'apilen amb quantitats suficients per assegurar el subministrament de la serraria en cas d'imprevistos.

El transport i la manipulació de troncs varia d'una serraria a una altra i depèn en bona part de la capacitat de funcionament i mida dels troncs. En general es realitza de forma mecànica.

L'escorçat dels troncs es porta a terme amb escorçadores mecàniques, antigament es realitzava al bosc però cada vegada es tendeix a fer a la serraria per evitar malalties i plagues.

L'escorçat serveix per eliminar una capa de la fusta que té unes propietats mecàniques diferents a les de la fusta a més contribueix al funcionament òptim de les serres i equips de desgast excessiu i facilita l'avaluació de l'estat i mides dels troncs.

#### **2.2.2.2 Serra de troncs**

Abans de sotmetre els troncs a la serra principal per al seu serrat, es talla en la seva major longitud recta admissible amb una serra troncadora, carregant-la a l'alimentador de la serra principal i col·locant-la de manera que el supervisor pugui efectuar un tipus de serrat que permeti la màxima producció de fusta aserrada amb el mínim de desperdici.

El pla de tall està en funció en bona part de la dimensió i les condicions del tronc, així com les necessitats tecnològiques de mercat pel que fa a l'ample i gruix de la fusta.

El serrat dels troncs s'aconsegueix utilitzant una serra circular que pot ser simple o doble. Un carro porta el tronc a través de la serra principal a la que s'amordaça i on pugui voltejar-se per a presentar a la mateixa de manera que es pugui aconseguir el major serrat possible.

Després de passar per la serra principal, a la desdobladora té lloc un ulterior serrat dels cantells, permetent eliminar els defectes de la fusta. Els costers grossos es serren per a taulons i les peces en forma d'esquadra es converteixen en taulons i taulells o es venen a altres indústries.

Els cantells redonds bastos de les peces que surten de la serra principal i de la desdobladora s'eliminen amb una cantejadora per a produir les amplades normalitzades que corresponen a les normes.

Al sortir de la serra principal, de la desdobladora o la cantejadora, les peces serrades es tallen per obtenir unes llargades determinades, eliminant-se els defectes mitjançant una o més retalladores.

Després la fusta serrada passa a la fase de selecció i classificació.

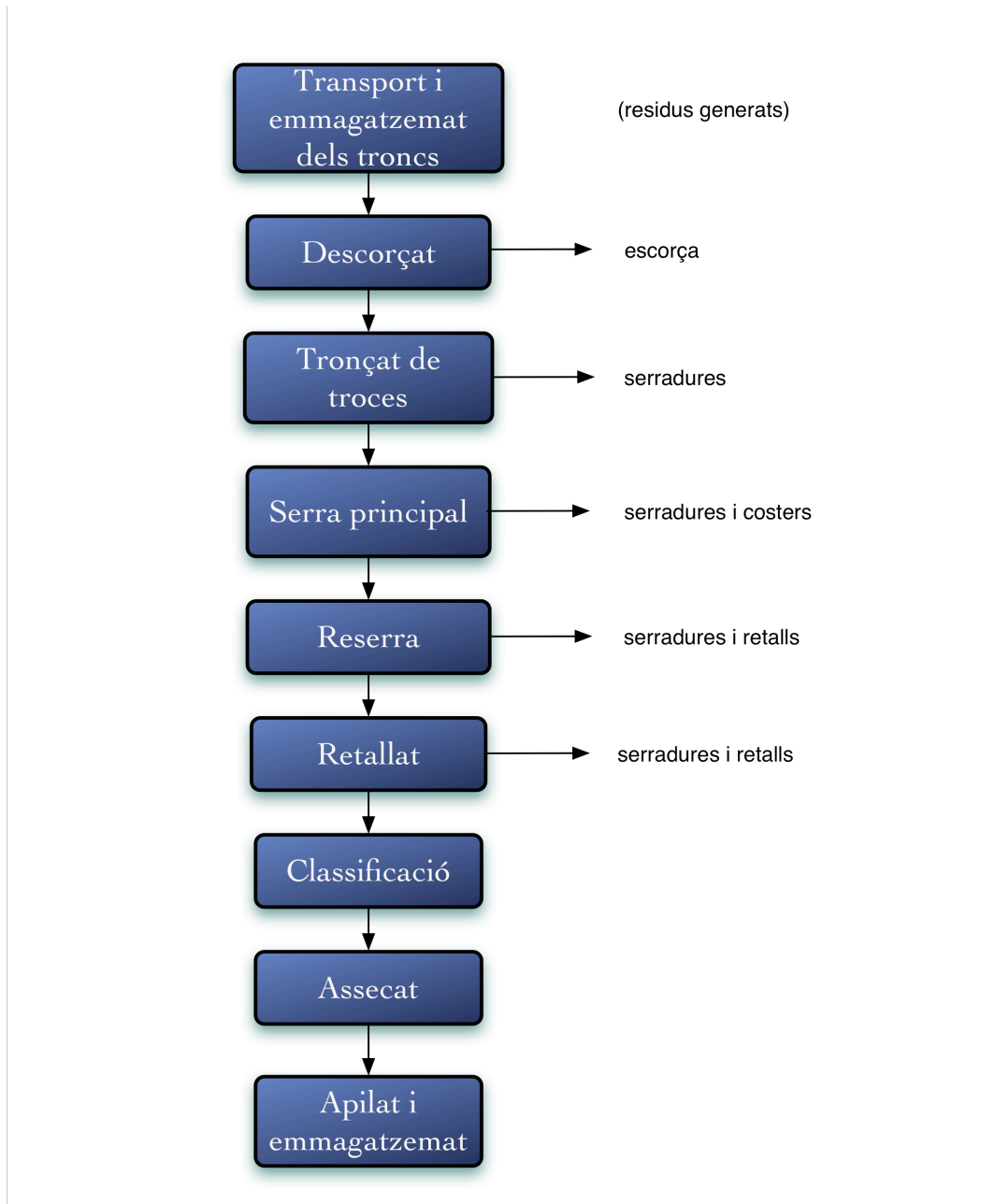




### 2.2.2.5 Flux del procés de serra de la fusta

A continuació es mostra de manera esquemàtica el flux del procés de serra de la fusta en una serraria i els residus que es generen en cada etapa.

**Gràfic 2.2.2.5 Flux del procés de serra de la fusta**



Font: elaboració pròpia.



**Taula 2.2.3.2a. Mitjana de residus generats per empresa.**

	mitjana (m <sup>3</sup> /any)	percen. (%)
<b>Consum de fusta en rol s. escorça</b>	2.800	100,00
<b>Producció de fusta serrada</b>	1.630	58,21
<b>Residus de fusta</b>	1.062	37,93
<b>Residus d'escorça</b>	450	16,07

Font: CONEMAC.

La suma en volum de producció de fusta serrada i la del conjunt de residus no equival al consum de fusta en rol sinó que és major, això és així perquè la densitat dels residus de fusta i escorça és menor a la de la fusta en rol sense processar. Tanmateix sí que hi ha un balanç en termes de massa entre la fusta consumida, la processada i els residus.

A l'hora de realitzar els càlculs, cal ser prudent i considerar una opció menys favorable en la que la serraria sigui menys eficient i la quantitat de residus disponibles per a la producció energètica sigui menor. Així, els valors es minvaran lleugerament i es considerarà una petita fracció de pèrdues que no seran aprofitables.

**Taula 2.2.3.2b. Volum total de residus generats.**

	petita (m <sup>3</sup> /any)	percen. (%)
<b>Consum de fusta en rol s.escorça</b>	2.800,0	100
<b>Producció de fusta serrada</b>	1.540,0	55
<b>Residus de fusta</b>	980,0	35
<b>Residus d'escorça</b>	420,0	15
<b>Pèrdues</b>	140,0	5

Font: Elaboració pròpia.

### 2.2.3.3 Massa enfront volum

La indústria forestal mesura la fusta en volum, generalment en metres cúbics, però els càlculs energètics d'aprofitament de la biomassa es mesuren en unitats de massa, tals com el kilogram i la tona. Això es així per a tots els combustibles sòlids per tal de poder calcular el poder calorífic. És imprecís considerar el poder calorífic volumètric ja que la biomassa pren formes irregulars i la densitat dels combustibles de biomassa varia molt segons la seva naturalesa i els processos de transformació a que se sotmeten.

La quantificació de residus generats en unitats de massa a partir del volum es realitza fàcilment mitjançant la densitat, aquesta és diferent per a l'escorça i la fusta i depèn de







Es disposa d'un anàlisi d'energia específica consumida en serreries elaborat pel Departamento de Montes, FAO (4) a nivell mundial. S'agafaran aquests valors com a referència per tal de tenir una primera aproximació de l'energia consumida en la serraria.

L'esmentat anàlisi manifesta que el tipus d'assecat de la fusta és un procés determinant pel consum energètic de la serraria. Si l'assecat es fa en forns requereix gran quantitat d'energia tèrmica mentre que si es fa a l'aire lliure, no es necessita cap aport energètic. A continuació es presenten les dades obtingudes de l'estudi de consums d'energies específics.

**Taula 2.2.4.2a Necessitats específiques d'energia**

	<b>Energia elèctrica (kWh/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Energia tèrmica (kJ/m<sup>3</sup>)</b>
<b>assecat a l'aire</b>		
fusta dura	30	0
fusta tova	20	0
<b>assecat en forns</b>		
fusta dura	75	2,5·10 <sup>6</sup>
fusta tova	45	1,5·10 <sup>6</sup>

Font: DEPARTAMENTO DE MONTES, FAO (4).

A partir d'aquests valors específics i tenint en compte que es produeix 1.540 m<sup>3</sup> anuals de producte acabat de fusta tova, s'estima consum energètic anual en funció del tipus de fusta i l'assecat a que es sotmet.

**Taula 2.2.4.2b Estimació del consum energètic de la serraria**

	<b>Energia elèctrica (kWh)</b>	<b>Energia tèrmica (kJ)</b>
<b>assecat a l'aire</b>		
fusta tova	30.800	0
<b>assecat en forns</b>		
fusta tova	115.500	2.310·10 <sup>6</sup>

font: DEPARTAMENTO DE MONTES, FAO (4).

Aquestes dades són imprecises i només pretenen ser una xifra orientativa de la quantitat de combustible necessària per a poder comparar si l'energia tèrmica generada durant el procés de gasificació i aprofitament energètic pot cobrir la demanda d'energia tèrmica de la necessària, o si suposa un excés o un defecte d'energia.

## 2.2.5 Distribució del temps de treball de la serraria

### 2.2.5.1 Distribució del temps de treball de la serraria

Es treballa a doble torn de 7 hores, des de les 7h del matí fins a les 21h de la nit, un total de 14 hores diàries ininterrompudes, de dilluns a divendres. El calendari laboral preveu que l'activitat productiva de l'empresa es porti a terme durant 50 setmanes a l'any. La distribució i el còmput total d'hores laborables queda de la següent manera:

**Taula 2.2.5.1. Distribució del temps de treball a la serraria**

hores/dia	dies/setmana	setmanes/any	hores/any
14	5	50	3.500

Font: elaboració pròpia.

Aquesta xifra representa les hores disponibles per al treball a les que cal descomptar-hi les aturades no programades per fallides en la maquinària per obtenir les hores treballades. En el cas de no disposar de dades comparatives de la indústria, Vignote, S. at al. (5). sosté que el descompte per aturades no programades suposa el 10% de les hores disponibles. Amb tot les hores anuals disponibles per al treball queden de la següent manera:

$$3.500 \text{ hores} \cdot 0,9 = 3.125 \text{ hores}$$

Les aturades programades per manteniment es realitzaran fora de l'horari productiu i per tant no cal descomptar-les.

## **2.3 La biomassa**

### **2.3.1 Caracterització de la biomassa**

#### **2.3.1.1 Biomassa**

La biomassa designa tota matèria orgànica, no fòssil, directament produïda a partir de processos biològics, inclosos tots els productes procedents dels éssers vius. Els combustibles fòssils com el carbó, el petroli o el gas natural si bé tenen un origen biològic aquest és molt remot i degut als processos de transformació que han patit ja no se'ls pot considerar biomassa Proyecto Enersilva (5).

En l'àmbit energètic el terme biomassa es refereix a les fonts d'energies renovables provinent de l'energia acumulada a les molècules d'organismes vius, productes directes o indirectes de la fotosíntesi de les plantes.

La definició avarca un conjunt molt heterogeni de matèries, tant pel seu origen com per la seva naturalesa. Una manera de classificar la biomassa en ecologia és mitjançant ordres, en el context de producció energètica es classifica segons el grau d'intervenció humana en la seva producció. Així, podem diferenciar entre:

- Biomassa natural: produïda als ecosistemes naturals tals com els boscos o el mar sense intervenció humana. Recursos llenyosos provinents de la fusta o dels seus derivats, llenya, fusta i escorça.
- Biomassa residual: biomassa generada per l'activitat humana. Per un banda inclou tots els residus i restes d'activitats agrícoles, forestals i de les seves indústries de primera transformació, per altra banda, els residus sòlids urbans, aigües residuals, olis i residus orgànics generats en indústries diverses.
- Cultius energètics: conjunt de cultius, inclosos els arbres, destinats principalment a la producció de biocombustibles. La seva aplicació és específica del camp de l'automoció i motors de combustió interna mòbils.

## 2.3.2 Els residus de la indústria forestal

### 2.3.2.1 La fusta i els seus derivats

La fusta és el principal recurs biomàssic de la indústria forestal. Està constituïda pràcticament en la seva totalitat per substàncies orgàniques però també conté una petita fracció de substàncies inorgàniques minerals.

Els seus components principals són la cel·lulosa, la hemicel·lulosa i la lignina que les plantes produeixen a partir de polisacàrids provinents de la polimerització de sucres simples resultants de la fotosíntesi.

- Cel·lulosa  $C_6H_{10}O_5$
- Hemicel·lulosa  $C_5H_8O_4$  (*xilosa*)
- Lignina  $C_9H_{10}O_3(OCH_3)_{0,9-1,7}$

També s'hi troba una fracció de substàncies orgàniques de naturalesa variada entre els que hi ha hidrocarburs alifàtics, alcohols, aldehids, ceres, compostos nitrogenats entre d'altres que s'agrupen sota el nom de components extraïbles de la fusta ja que normalment és possible separar-los mitjançant processos bioquímics.

El potencial energètic de la fusta, mesurat en unitats de poder calorífic, ve determinat bàsicament per la quantitat en que es trobin la cel·lulosa, la hemicel·lulosa, la lignina i altres components orgànics oxidables. La humitat i les substàncies inerts contingudes en la fusta, li resten poder calorífic degut als processos que pateixen quan són sotmesos a altes temperatures. En el quadre següent es mostra el poder calorífic dels polímers i la composició percentual mitja de la fusta dura (provinent de Frondoses i altres espècies) i la fusta tova (provinent de Pinàcies).

**Taula 2.3.2.1. PCS en sec components fusta**

Component	PCS <sub>sec</sub> (MJ/kg)	C [%]	fusta dura (%)	fusta tova (%)
<b>Cel·lulosa</b>	17,46	44	43	43
<b>Hemicel·lulosa</b>	17,46	45	35	28
<b>Lignina</b>	26,63	60	22	29

Font: elaboració pròpia a partir de Vignote, S. et al. (5).

La lignina conté una major proporció de carboni en la seva composició, aquest li confereix un PCS en sec major que en les cel·luloses. El contingut en lignina és més elevat en fustes toves fet que comporta que tinguin un poder calorífic superior al de les fustes dures.

Els residus de fusta tenen un origen comú: la fusta de l'arbre sotmesa a processos mecànics de transformació. Es pot considerar que la composició dels diferents residus de fusta és la mateixa i només varien en les seves propietats geomètriques i físiques.

Tots els rendiments econòmics dels subproductes i residus de serraria aquí estipulats són estimats segons el professor Manuel Garasa del Departament de Producció vegetal i Ciència Forestal de l'ETSEA, UdL.

### **Retalls de fusta i costers**

Els retalls de fusta són blocs de fusta de mida variable i forma prismàtica. Es generen durant el procés de serrat i tallat de la fusta. S'hi observen fibres senceres i altres seccionades, en funció del tipus de tall al que és sotmès la fusta. La densitat real d'un retall de fusta es pràcticament igual a la de la fusta serrada, en canvi no passa el mateix en les piles de retalls de fusta, ja que la seva geometria i mida variable fan que el seu apilat no sigui tant eficaç fent que la densitat aparent d'una pila de retalls de fusta sigui inferior a la d'una pila de fusta serrada.

Es consideren subproductes, tenen un valor comercial considerable i es generen en quantitat suficient per a ser aprofitats. S'usen per a produir taulells de partícules i aglomerats. En serreries integrades és la mateixa empresa generadora de residus qui en fa l'ús però, a l'estat espanyol, generalment es venen a indústries forestals especialitzades en la producció de taulells de partícules i aglomerats.

Degut a la seva densitat energètica i a la quantitat en que es generen són un residu potencial per a la producció d'energia. El seu ús com a font energètica només quedaria justificat si el rendiment econòmic que s'obté de l'energia produïda supera o iguala al valor econòmic que n'obtindriem de la seva venda a la indústria.

El seu preu unitari de venda és de 25-30 €/m<sup>3</sup>. Per a l'avaluació econòmica del Projecte es prendrà la opció més conservadora a l'hora de considerar la viabilitat econòmica i s'agafa un preu de 30 €/m<sup>3</sup>.

### **Serradures i llimadures**

Les serradures i les llimadures són partícules de mida inferior a 1 mm. i forma circular, pols de fusta. Es desprenen en totes les operacions mecàniques d'elaboració de la fusta, especialment el serrat. Degut a la seva reduïda mida les fibres de la fusta es troben seccionades i tenen una major densitat que la fusta.

La majoria de gasificadors de llera fixa o mòbil no són aptes per a les serradures. Els problemes que es presenten són la excessiva producció de quitrans i una caiguda de pressió del gas inadmissible, motiu pel qual es descarta utilitzar-los com a combustible en aquest Projecte.

Els gasificadors de llera fluïditzada poden gasificar serradures i produir un gas de síntesi amb impureses significatives apte per a ser cremat però el seu ús en motors de combustió interna requereix un sistema complex de filtrat.

Es consideren subproductes, tenen un valor comercial baix però una forta demanda. Es valoren sobretot per les seves propietats físiques: absorbent, abrasiu, fibrós, granular i mal conductor tèrmic.

Els seus usos són variats, en la indústria forestal s'usa en la fabricació d'aglomerats, en altres indústries s'empra com a absorbent de líquids i en la neteja de superfícies, també com a part del compost (adob orgànic), additiu de ciments lleugers o producció d'energia tèrmica. El seu valor és de 2-3 c€/kg.

S'exclourà l'ús de serradures i llimadures en el procés de revalorització energètica dels residus.

## **Encenalls**

Els encenalls són partícules de fusta de morfologia ondulada i mida inferior a 1 cm. Es generen bàsicament durant el processos de raspallat i allisat de la fusta serrada però també se'n poden formar durant la serra. Els caracteritza la seva forma ondulada, que confereix als encenalls una relació superfície/volum més baixa que en la fusta. Així les piles d'encenalls tindran una gran quantitat d'espais buits i conseqüentment la seva densitat aparent serà més baixa que la de la fusta.

Se'ls considera un subproducte, tenen un valor comercial considerable i hi ha forta demanda. Normalment es venen per a l'elaboració de taulells de partícules, per a la fabricació de pellets i briquetes de biomassa o per a l'empaquetament d'ampolles de vi i altres bens de luxe.

Es tindran en compte en el còmput de residus disponibles per a gasificar i s'inclouran amb els retalls de fusta.

### **2.3.2.2 L'escorça**

L'escorça és la capa més externa de les arrels, tronc i branques de les plantes llenyoses, té la funció de cobrir i protegir la fusta. Consisteix de tres capes, l'escorça externa, formada per cèl·lules vegetals mortes, l'escorça interna o líber, per on circula la sàvia de l'arbre i el càmbium, teixit que origina la fusta, cap a l'interior de l'arbre i l'escorça cap a l'exterior.

Els seus components són els mateixos que els de la fusta però en proporcions distintes. La fracció fibrosa consisteix de cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina. A l'igual que en la fusta hi predomina la cel·lulosa, component que s'hi troba en proporcions similars, en canvi conté una quantitat inferior d'hemicel·lulosa i una quantitat superior de lignina que en la fusta. La quantitat de components extraïbles i de minerals presents és major que en la fusta.

En l'indústria de serraria l'escorça és un residu de fusta en forma de tires longitudinals com a conseqüència del descorçat, un dels darrers processos al que es sotmet la fusta en



una serraria. Representa de mitja el 15% en volum del tota de l'arbre. La seva densitat és inferior a la de la fusta i depèn molt del grau de compactació a que es sotmet. Té un comportament marcadament higroscòpic i presenta facilitat per captar i cedir aigua de l'ambient.

El potencial energètic de l'escorça ve determinat sobretot per la quantitat de polímers oxidables: cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina.

Es considera un residu i se'n produeix en grans quantitats. Segons Manuel Garasa, ETSEA, es ven a 18-20 €/tn. Es prendrà com a referència el preu de 20 €/tn en l'estudi de viabilitat per ser la opció més conservadora.

El seu aprofitament en serreries és limita a la generació d'energia tèrmica, però això només es fa en aquelles indústries on es cremen a més altres residus. Fora de la indústria de serrat s'empra en jardineria, s'aprofita directament com a element decoratiu o es tritura i s'afegeix al compost per formar un adob orgànic i millorar la retenció d'aigua del sòl.



### 2.4.1 Aspectes socioeconòmics

- Obtenció d'energia elèctrica: aquesta pot ser aprofitada a la mateixa indústria i estalviar energia d'altres fonts o vendre's i aportar uns ingressos.
- Obtenció de productes de valor comercial: part dels residus que es generen en la revalorització energètica de la biomassa tenen valor comercial, és el cas de les cendres, que s'utilitzen com a fertilitzant agrícola.
- A les serraries integrades amb altres elaboracions de primera transformació com la pasta de paper o de taulells, els residus són un factor de producció per a l'elaboració de productes. Cal avaluar en cada cas si la gasificació dels residus aporta majors beneficis econòmics.
- A les serraries en que no s'aprofita suposa un subproducte que es pot optar per vendre o revaloritzar energèticament. Si s'opta per aquesta darrera opció s'aconsegueix reduït el volum i la massa dels residus generats, essent la seva gestió menys costosa.

### 2.4.2 Aspectes mediambientals

- Reducció del volum de residus: el volum de residus generat pel procés de revalorització és inferior al volum que es genera sense el seu tractament. Aquesta disminució de volum suposa una facilitat en la seva gestió.
- La biomassa és un recurs renovable: el ritme al que es produeix la biomassa consumida fa que aquesta sigui sostenible en el temps.
- Major aprofitament exergètics dels materials: la gasificació no tant sols possibilita aprofitar la radiació i el calor sensible dels gasos alliberats, sinó que produeix un gas amb poder calorífic. Els rendiments globals obtinguts de la

gasificació de biomassa arriben al 80% i són molt més alts que els obtinguts en la incineració o combustió directa.

- Balanç neutre de CO<sub>2</sub>: la gasificació de biomassa allibera CO<sub>2</sub> però es considera que ha estat captat de l'atmosfera prèviament per les plantes. En el cas de la fusta durant el creixement de l'arbre es fixa la mateixa quantitat de CO<sub>2</sub> que posteriorment s'allibera.
- Reducció d'emissions de NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> i efluent respecte a combustibles fòssils: la biomassa conté compostos que en transformar-se tèrmicament alliberen NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub>, però la quantitat en que ho fan és molt inferior que en els combustibles fòssils. A l'apartat dedicat a la generació de residus s'amplia aquest tema.

### **2.4.3 Vies de revalorització energètica**

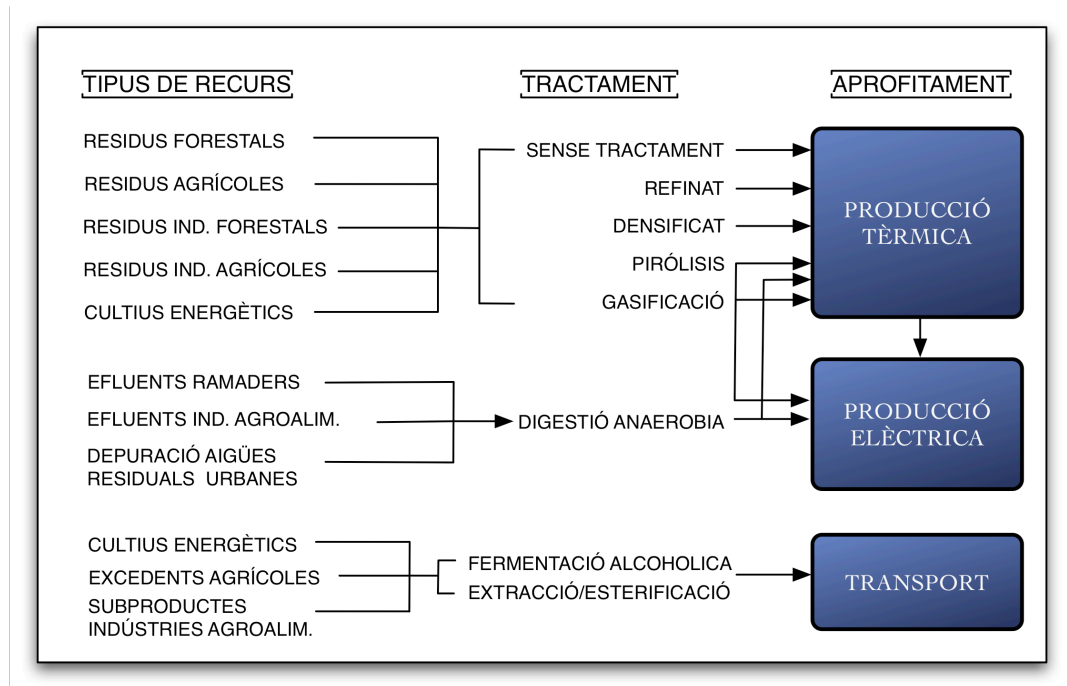
Les diverses vies de revalorització energètica no son més que processos de transformació de la biomassa. Poden englobar-se en els següents grups:

- Combustió directa: correspon al sistema tradicional de la combustió de la biomassa en cases o, avui en dia, en forns de llera fluïditzada. Es tracta d'una reacció altament exotèrmica, el producte resultant és un gas inert compost de CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O que no té poder calorífic aprofitable, per tant l'aprofitament energètic consisteix en aprofitar el calor sensible que es desprèn durant el procés de combustió.
- Vies termoquímiques: en determinades condicions de temperatura i pressió, la biomassa sòlida es transforma en altres subproductes sòlids, líquids i gasosos més adequats a l'aplicació que es desitgi. Aquestes transformacions, gràcies al nivell tecnològic aconseguit estan substituint a la combustió directa. Els productes resultants són, en la seva majoria gasos amb poder calorífic, tot i que en algunes transformacions també s'obtenen sòlids.
- Vies bioquímiques: són un conjunt de reaccions de transformació que es produeixen a temperatura ambient o propera a ella. Estan integrades per les

transformacions anaeròbies i les fermentacions alcohòliques. El producte sol ser un gas o líquid amb poder calorífic variable, juntament amb altres gasos inerts.

A continuació es mostra un gràfic que mostra tots els processos possibles de transformació de la biomassa i el tipus d'aprofitament energètic que se'n fa.

**Gràfic 2.4.3 Processos de transformació energètica de la biomassa.**



Font: elaboració pròpia.



## 2.4.6 Teoria de la gasificació

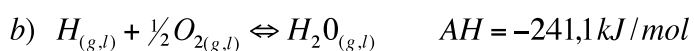
La gasificació és un procés endotèrmic de reducció en el que es converteix, mitjançant oxidació parcial a temperatura elevada, una matèria prima generalment sòlida en un gas amb poder calorífic. Es porta a terme en etapes successives que es produeixen simultàniament dins del gasificador. La forma en la que tenen lloc processos i reaccions depèn del tipus de gasificador.

Un gasificador de biomassa consisteix principalment d'un reactor alimentat d'un combustible biomàssic junt amb un limitat subministre d'oxigen (menys que en les condicions estequiomètriques necessàries per a la combustió completa).

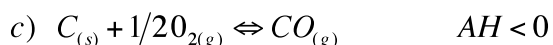
Com ja s'ha comentat, la gasificació és un procés endotèrmic i per a que es produeixi cal aportar-li energia, aquesta s'obté mitjançant la combustió parcial del combustible que l'alimenta.

El primer que succeeix quan el sòlid orgànic entra al gasificador és l'assecat i escalfat del combustible. Un cop s'ha assolit la temperatura suficient, es produeix la piròlisi, en la que el sòlid allibera els compostos volàtils i es forma un residu carbonós o char.

El residu carbonós, en presència de l'oxigen tendeix a combustionar, un limitat subministre d'oxigen, aire, vapor d'aigua o combinació dels mateixos serveix com a agent oxidant. En combustió completa, el diòxid de carboni és obtingut del carboni i l'aigua, de l'hidrogen. La oxidació o combustió és descrita per les següents fórmules:



Com que l'agent oxidant s'hi troba en quantitat insuficient per a que es produeixi la combustió completa, s'afavoreix la presència de monòxid de carboni per combustió incompleta (c).







## **2.4.7 Principals elements de la gasificació**

### **2.4.7.1 Agents gasificants**

Es denomina agent gasificant al gas que s'utilitza en la gasificació per a produir gas combustible. Segons l'agent que s'empri es produeixen diferents efectes en la gasificació i el gas de síntesi variarà en la seva composició i poder calorífic.

Si es gasifica amb aire, part de la biomassa processada es crema amb l'oxigen present i la resta de la biomassa experimenta la reducció. No obstant, el 50% del gas de síntesi resultant està format per nitrogen que no intervé en les reaccions d'oxidació i reducció de la biomassa ni aporta poder calorífic al gas pobre, ans al contrari es poden formar compostos indesitjats a partir del nitrogen. És adequat per a motors de combustió interna convencionals ja que no són gaire exigents en quan a la composició del gas.

La gasificació amb oxigen o vapor d'aigua milloren el rendiment global i augmenten la proporció d'hidrogen del gas de síntesi. És el sistema més adequat de producció si es desitja emprar el gas per a produir etanol o gasolina sintètica. Si bé l'aire és gratuït i el vapor d'aigua es produeix a partir del calor sensible recuperat del gas de síntesi en la fase de tractament, l'oxigen té un cost energètic i econòmic a tenir en compte.

Una opció intermitja és emprar una barreja de vapor d'aigua amb aire. D'aquesta manera s'aconsegueix millorar el poder calorífic del gas que obtindríem de la gasificació amb aire alhora que abarateix els costos i la complexitat de la gasificació amb vapor d'aigua o oxigen.

La utilització d'hidrogen com a agent gasificant permet obtenir un gas de síntesi que pot substituir al gas natural i pot aconseguir un poder calorífic de l'ordre de 30 MJ/kg. No obstant, l'hidrogen és el millor dels combustibles, susceptible de ser emprat en qualsevol dispositiu termoquímic o electroquímic, i no és habitual la seva utilització com a agent gasificant en revaloritzacions energètiques.

### **2.4.7.2 Biomassa**

La biomassa és el recurs a gasificar. Gairebé qualsevol tipus de biomassa seca (humitat inferior al 20%) es pot gasificar però per aconseguir un gas de qualitat cal avaluar les

La biomassa utilitzada en aquest Projecte es refereix a residus fustaners de serraria. Les característiques d'aquest combustible s'analitzen a l'apartat 6.3 Caracterització dels residus de serraria com a font energètica.

No sempre presents. En funció de la tecnologia emprada i de les condicions de gasificació es poden emprar catalitzadors per a induir certes reaccions i que es produeixi prioritàriament algun component.

El seu ús és divers, per exemple, es poden utilitzar per a facilitar el “cracking” dels quitrans o bé facilitar la formació de monòxid de carboni o hidrogen.

Hi ha diversos criteris de classificació dels gasificadors, aquí s'ordenaran segons el tipus de llera i el sentit dels elements de la gasificació.

**De corrent ascendent o contracorrent (tir directe). Updraught or counter current gasifier.**

El tipus de gasificador més antic i senzill és el de tir directe o gasificador ascendent.

L'entrada d'aire es troba al fons i els gasos surten per dalt. Prop de la graella, al fons, tenen lloc les reaccions de combustió, que van seguides de reaccions de reducció una mica més amunt. A la part alta del gasificador té lloc l'escalfament i piròlisi de la càrrega, com a resultat de la transferència de calor, per convecció forçada i radiació, de les zones inferiors. Els quitrans i productes volàtils produïts durant el procés són transportats per la corrent de gas. Les cendres es retiren del fons del gasificador.

Les principals avantatges consisteixen en la seva simplicitat, l'alta proporció de carbó vegetal cremat i l'intercanvi intern de calor que motiva unes baixes temperatures de sortida del gas, alta eficiència de l'equip i la possibilitat de funcionar amb diferents tipus de residus: serradures, fusta, pinyols.

Els principals inconvenients provenen de la possibilitat de que es produeixi "channeling" o formació de canals en l'equipament, fet que pot motivar la sortida d'oxigen i substàncies explosives perilloses i la necessitat d'instal·lar graelles de moviment automàtic, així mateix, també té problemes relacionats amb l'eliminació de líquids condensats que contenen quitrans, resultant de les operacions de depuració del gas. Aquest fet però no té importància si el gas s'emptra per aplicacions directes de calor ja que els quitrans són simplement cremats.

### **De corrent descendent o corrents paral·leles (tir invertit). Downdraught or co-current gasifiers.**

La solució per al problema de l'arrossegament del quitrans en la corrent del gas s'ha solucionat dissenyant gasificadors de tir invertit o corrent descendent, en els quals l'aire de primera gasificació és introduït a la zona d'oxidació del gasificador o per damunt d'aquesta. El gas pobre surt pel fons de l'aparell de manera que el combustible i el gas es mouen en la mateixa direcció.

En el seu camí cap avall, els productes àcids i quitrans de la destil·lació procedents del combustible han de passar a través d'una llera incandescent de carbó vegetal i es transformen en gasos d'hidrogen, diòxid de carboni, monòxid de carboni i metà.

Depenent de la temperatura de la zona incandescent i del temps de pas dels vapors amb quitrans, s'aconsegueix una descomposició més o menys completa dels quitrans.

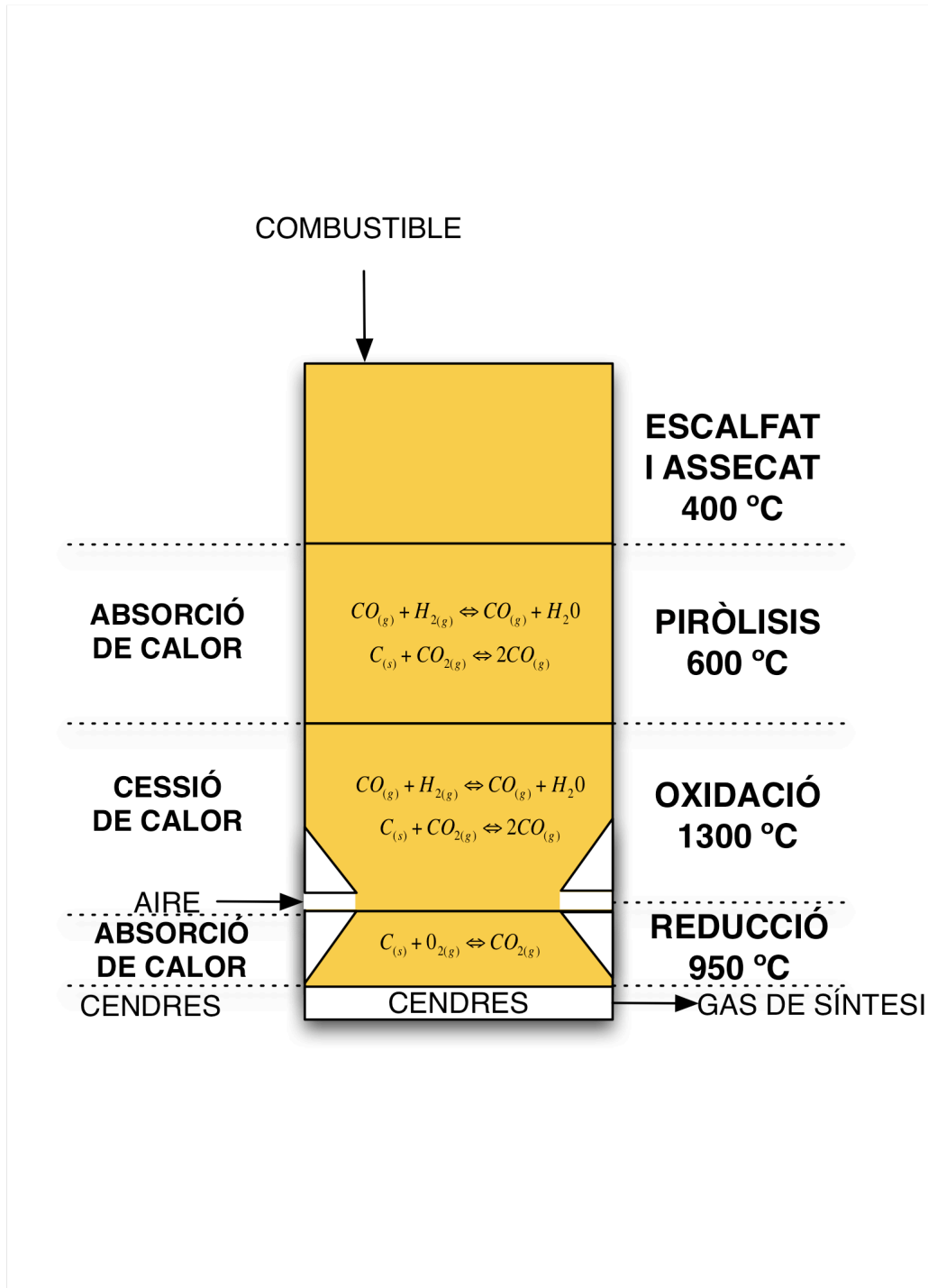
El principal avantatge dels gasificadors de tipus invertit radica en la possibilitat de produir un gas sense quitrans apropiat per a motors. Tanmateix, a la pràctica és molt estrany aconseguir un gas lliure de quitrans.

Degut al menor contingut de components orgànics en el líquid condensat, els gasificadors de tir invertit pateixen menys objeccions ambientals que els gasificadors de tir directe.

Els gasificadors de tir invertit pateixen també els problemes relacionats amb els combustibles d'alt contingut de cendres, en major proporció que els gasificadors de tir directe.

Un petit inconvenient del sistema de tir invertit en comparació amb el de tir directe és la seva inferior eficiència degut a la falta d'intercanvi intern de calor i el menor valor calorífic del gas.

**Gràfic 2.4.8.1 – Esquema gasificador downdraft**



Font: elaboració pròpia.

### **Gasificadors de corrent creuada (tir transversal). Cross-draught gasifier.**

Els gasificadors de corrent creuada són una adaptació per a la utilització de carbó vegetal. La gasificació del carbó vegetal produeix temperatures molt elevades, superiors a 1500°C a la zona d'oxidació que poden produir problemes en els materials. En els gasificadors de tir transversal, el propi combustible serveix d'aïllament contra aquestes altes temperatures.

El principal avantatge del sistema rau en poder funcionar a molt petita escala, podent resultar econòmicament viable, en certes condicions, en instal·lacions inferiors a 10 kW de potència a l'eix. La raó està en la gran senzillesa del conjunt de depuració del gas: tant sols un cremador de cicló i un filtre calent que es pot emprar quan s'utilitza aquest tipus de gasificador amb motors petits.

Un inconvenient dels gasificadors de tir transversal és la capacitat mínima de transformació dels quitrans i la necessitat consegüent d'emprar carbó vegetal d'alta qualitat (és a dir amb baix contingut de volàtils).

Degut a la incertesa sobre la qualitat del carbó, un cert nombre de gasificadors de carbó vegetal empren el sistema de corrent ascendent per a mantenir al menys una mínima capacitat de cracking dels quitrans.

### **2.4.8.2 Llera fluïditzada**

#### **Gasificadors de llera fluïditzada**

El funcionament dels gasificadors de tir directe i de tir invertit es veu afectat per les propietats morfològiques, físiques i químiques del combustible. Els problemes que plantegen sovint són: la falta de tir en el dipòsit, la formació d'escòria i la excessiva caiguda de pressió del sistema. El gasificador de llera fluïditzada pretén eliminar aquests problemes Quaak, Peter et al. (9).

El funcionament és el següent: s'injecta aire a través d'una llera de partícules sòlides a velocitat suficient per a mantenir-les en estat de suspensió. Es comença per escalfar externament la llera i la matèria prima s'introdueix tant aviat com s'aconsegueixi una temperatura suficientment elevada. Les partícules del combustible s'introdueixen pel fons del reactor, es barregen molt ràpidament amb el material de la llera i s'escalfen

La biomassa és gasificada a la llera formant gasosos i sòlids, els compostos d'alt pes molecular són craquejats pel contacte amb el material de la llera i s'obté un gas de síntesi amb un contingut de quitrans relativament baix d'entre 1-3 g/Nm<sup>3</sup>.

La velocitat de fluïdització és inferior a la velocitat terminal del material de la llera aconseguint que per sobre d'aquesta tant sols hi hagi un gas que conté només petites partícules cendroses.

En aquests tipus de gasificadors la velocitat de fluïdització del gas és propera a la velocitat terminal del material de la llera, aquesta suficientment gran com per arrastrar el combustible sòlid que ascendeix fins a topar amb el filtre del cicló intern i cauen a la llera.

Mitjançant la circulació del sòlid s'aconsegueix un major temps de residència del combustible del gasificador, una major conversió de biomassa a gas i una millor transferència de massa i calor que amb els gasificadors de llera fixa i els de llera fluïditzada bombollejant.

Actualment s'estan desenvolupant altres sistemes de gasificació: de doble foc, de llera retinguda, rotatoris, de bany fos, etc. que són en part adaptacions de la tecnologia de gasificació de carbó mineral. En alguns casos aquests sistemes incorporen refinaments i complicacions innecessàries, en d'altres, tant la mida com la complicació de l'equip fan

## Contaminació per quitrans

Els quitrans són el producte de la descomposició per piròlisi d'una extensíssima família d'hidrocarburs aromàtics de cadena llarga, continguts en la fusta, que comencen amb la sèrie de l'antracè. La seva presència en processos de combustió, en particular en la gasificació és fonamental per a l'explotació de la planta.

Des del punt de vista operacional el gran problema és que a les temperatures de treball, sempre superiors a 500° C, els quitrans es troben en forma de vapor i el seu comportament és similar al dels gasos, no obstant a mesura que el gas es refreda els quitrans es condensen i poden provocar una sèrie de problemes tècnics greus en els dispositius condicionadors del gas i en defecte d'aquests, en el motor de combustió interna. És per això que el primer procés a que es sotmet el gas un cop fora del gasificador és l'eliminació de quitrans. Departamento de Montes, FAO (6).

La concentració de quitrans és funció de la temperatura de gasificació, del temps de residència, del tipus de reactor emprat i de la substància que es gasifica. La alta relació hidrogen/carboni i oxigen/carboni que presenta la fusta comporta una major formació de quitrans durant la seva combustió que qualsevol dels combustibles fòssils.

La quantitat de cendres segons el tipus de combustible varia considerablement, des del 0,1% de determinades fustes al 15% per a alguns productes agrícoles i té particular incidència en el disseny d'eliminació de cendres del reactor. La composició química dels quitrans afecta de manera directa al punt de fusió de les cendres i al seu comportament dins del gasificador. La fusió de cendres pot causar la formació d'escòria a les parets del reactor, l'acumulació d'aquesta pot acabar per inutilitzar-lo.



### **Baix poder calorífic del gas**

Si bé la biomassa té un poder calorífic que a priori pot semblar elevat, el poder calorífic del gas pobre obtingut de la seva gasificació és variable i depèn de la naturalesa de la biomassa i l'agent gasificant.

La gasificació de biomassa amb aire resulta en un gas amb un PCI d'entre 4 i 5 MJ/Nm<sup>3</sup>. Això suposa una potència de sortida més baixa, en motors de combustió interna, que si s'empres vapor d'aigua, oxigen o hidrogen com a agent gasificant. No obstant la gasificació amb aire suposa la opció més econòmica i tecnològicament senzilla de totes les opcions possibles.

### **Matèria prima**

Les variacions en la composició, morfologia i contingut d'humitat de la biomassa dona lloc a problemes d'alimentació i operació del reactor. Per la majoria de gasificadors es requereix un cert grau d'estandardització dels materials, aquesta la podem obtenir mitjançant processos d'assecat, triturat o astellat i densificat. Els contaminants com la sorra, pedra i plàstics, poden causar problemes operacionals i d'emissions.

La disponibilitat de biomassa, la logística i els costos, són una altra preocupació. Per a justificar els alts costos d'inversió dels gasificadors de biomassa és necessari contractes a llarg termini de biomassa de qualitat al millor preu possible. A la pràctica això sembla ser difícil. Hi ha una necessitat d'estandardització de combustibles.

### **Neteja del gas**

S'han desenvolupat diferents dispositiu de neteja del gas amb més o menys èxit però cal avaluar si aquests processos són viables des del punt de vista econòmic ja que en funció dels processos a que es sotmet el gas les diferents etapes de filtrat, netejat i refredat incorren uns elevats costos que poden suposar la inviabilitat econòmica de la gasificació.

## **2.4.10 La recuperació energètica**

La última etapa en el procés de revalorització energètica del residu és la recuperació energètica, consisteix en la conversió de l'energia tèrmica i entalpia del gas en energia útil mitjançant màquines tèrmiques. Existeixen diferents alternatives de recuperació energètica del gas pobre, la seva eficiència i viabilitat depèn de les dimensions de la planta i la qualitat del gas.

### **2.4.10.1 La cogeneració**

És un sistema de recuperació energètica caracteritzat per la producció simultània d'energia mecànica o elèctrica i calor a partir d'una font d'energia primària. Es basa en la utilització de diversos tipus de màquines tèrmiques amb les quals s'obté energia mecànica o elèctrica i tèrmica d'un sol combustible.

El principal avantatge respecte a un sistema convencional d'energia és l'augment d'eficiència energètica, reduint la quantitat necessària de combustible per a produir la mateixa quantitat d'energia útil, econòmicament, suposa una reducció dels costos específics de producció energètica ja que el consum específic de combustible és inferior que el d'una planta convencional.

Això comporta una sèrie de beneficis, des del punt de vista ambiental la cogeneració aconsegueix reduir la emissió de contaminants.

Al generar electricitat mitjançant una dinamo o alternador moguts per un motor tèrmic o una turbina, l'aprofitament de l'energia química del combustible és del 25% al 40% i la resta es dissipa en forma de calor. Amb la cogeneració s'aprofita una part important de l'energia tèrmica que normalment es dissiparia a l'atmosfera i evita els possibles problemes generats per la calor no aprofitada. Elías, Xavier (7).

A continuació es compara tres alternatives de producció termoelèctrica amb cogeneració.

#### **2.4.10.2 Motor de combustió interna a gas amb sistema de recuperació**

Consisteix en la combustió en motor de combustió interna de cicle Dièsel o Otto del gas pobre obtingut en la gasificació. La generació d'energia elèctrica es produeix gràcies als alternadors acoblats als motors i la energia tèrmica s'obté de la refrigeració del motor i del calor sensible dels gasos de combustió.

Els rendiments mecànics i elèctrics són alts i milloren en funció de la potència del motor. Així, avui en dia els motors de potència inferior a 1 MWe tenen un rendiment que oscil·la entre el 36 al 39% mentre que els de potència superior als 2 MWe poden superar el 42%.

El motor és una màquina robusta que admet parades i posades en marxa brusques així com règims de càrrega variable, mantenint els paràmetres de consum específic de combustible dins d'un rang acceptable. Per a que puguin funcionar amb gas pobre els motors han de disposar d'un sistema d'encés amb xispa, els motors de cicle Otto que normalment utilitzen gasolina com a combustible disposen sempre d'aquest sistema però no els motors de gasoil que requereixen la instal·lació d'aquest sistema d'encés.

En quant a l'aprofitament tèrmic es realitza mitjançant un sistema de recuperació de calor del cabal de gasos calents i de l'aigua de refrigeració del motor, representant un 35 a 55% de l'energia total en funció del grau d'aprofitament elèctric.

Al mercat existeixen models disponibles per a aquests usos des de 25 kWe fins a 5 MWe.

#### **2.4.10.3 Turbina de gas i caldera de recuperació**

La turbina de gas és una màquina rotativa accionada per la expansió de gasos de combustió del gas pobre. Existeixen dos tipus bàsics de turbines de gas, de combustió interna i de combustió externa.

En les turbines de combustió externa el fluid de treball, aire o un gas inert, descriu un procés tancat i cíclic rebent i cedint calor mitjançant intercanviadors de calor. El focus calent són els gasos calents de la combustió en una càmera de combustió i el focus fred és l'aigua de refrigeració que cedeix a l'ambient la calor absorbida.

En les turbines de combustió externa la combustió es produeix en el fluid de treball, aire o un gas inert. Els gasos de combustió després de passar per la turbina són cedits a l'ambient i el compressor aspira aire nou de l'atmosfera.

#### **2.4.10.4 Cicle combinat IGCC**

En el procés de cicle combinat IGCC (Integrated Gas Combined Cycle) es genera electricitat en dues etapes. A la primera una turbina de gas connectada a un alternador s'encarrega de la producció elèctrica, mentre que la segona aprofita els gasos d'escapament de la turbina per a generar vapor en una caldera, que posteriorment passarà a través d'una turbina de vapor amb un alternador acoblat.

#### **2.4.10.5 Rendiment energètic**

Els rendiments esmentats en aquest apartat s'han extret de Bridgewater, A.V. (8).

Quan el que es persegueix és convertir la energia calorífica en energia elèctrica, la màquina que dona major rendiment és el motor alternatiu, tant mateix, de vegades no és possible la instal·lació d'aquest sistema i s'opta per altres. En general, s'accepta que per a potències inferiors als 5 MWe té un major rendiment el motor alternatiu al cicle combinat i a la de turbina de vapor.

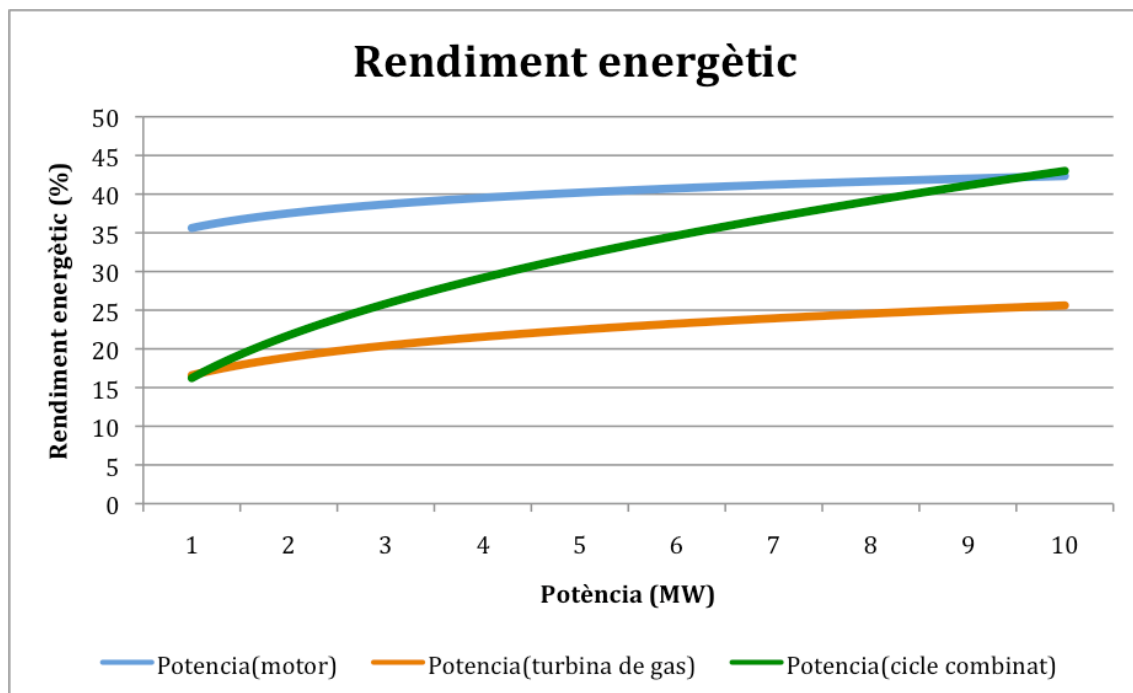
El rendiment elèctric d'un motor de combustió és alt i millora en funció de la potència del motor. Així, avui en dia els motors de potència inferior a 1 MWe tenen un rendiment que oscil·la entre el 36 al 39% mentre que els de potència superior als 5 MWe poden superar el 42%.

El rendiment elèctric d'una turbina de vapor és del 12-15% per a potències inferiors a 1 MWe, en turbines de potència superior s'assoleixen rendiments del 20-25%.

El rendiment d'una turbina de gas és variable i augmenta de forma molt apreciable amb la potència de la turbina. Les turbines de vapor de potència inferior a 1 MWe, anomenades miniturbines, tenen un rendiment elèctric inferior al 25%, i no s'assoleix un rendiment del 37% fins als 25 MWe, raó per la qual s'utilitza en grans plantes de generació elèctrica.

El rendiment en conjunt del cicle combinat és superior al 50% per a potències superiors a 10 MWe, però disminueix molt ràpidament a potències inferiors.

**Gràfic 2.4.10.5 Rendiment energètic**



Font: a partir de dades de Bridgewater A.V. (8).

## **2.5 Tecnologia emprada**

El mercat de gasificadors de la biomassa a l'estat espanyol és escàs, hi ha poques empreses que es dediquin al disseny i fabricació de sistemes de gasificació de biomassa. Si es desitja fer el disseny d'una planta a partir dels diferents equips que la constitueixen la situació no millora gaire, sobretot pel que fa al gasificador i al motor de combustió interna adaptat al gas pobre en cas de voler-se produir energia elèctrica. La situació és millor en països europeus on la gasificació de biomassa està més estesa, tals com Finlàndia, Suècia i França on s'està desenvolupant un verdader mercat entorn la tecnologia de gasificació.

La opció a triar entre els diferents gasificadors, s'escull entre els productes disponibles a l'estat espanyol. S'estableixen una sèrie de requisits i criteris per a la tria.

### **2.5.1 Requisits del sistema de gasificació.**

L'activitat productiva principal d'una serraria no és la producció d'energia a partir de residus ni tampoc la que aporta majors beneficis. La gasificació de residus és una activitat secundària encaminada a reduir costos a partir de la revalorització de residus, millorar el rendiment econòmic del procés productiu i eliminar els residus.

Per tant la elecció de la tecnologia del sistema de gasificació depèn en últim terme de la producció de la serraria i s'ha d'adaptar a la quantitat i naturalesa dels residus que s'hi generen. Això comporta una sèrie de requisits:

- Capacitat de funcionar amb residus fustaners de diferent mida i densitat.
- Òptim de funcionament dins del rang de residus de fusta disponibles.
- Obtenció d'un combustible de suficient qualitat que permeti la generació de calor i electricitat.

Aquests requisits són *condició sine qua non* i representen els factors més importants en la viabilitat tècnica de l'aprofitament

### **2.5.2 Criteris per a la tria del sistema de gasificació.**

Els requisits estableixen una condició necessària però no són suficients per a l'elecció del sistema de gasificació més adient per la serraria, cal tenir en compte un seguit de criteris en funció de la finalitat de la gasificació. Com que es busca la revalorització dels residus de fusta i obtenir-ne el màxim profit econòmic possible, els criteris més importants són de caire econòmic.

- Costos de producció per kWh
- Costos de manteniment i reparacions
- Producció elèctrica i rendiment global
- Potència màxima disponible al gas pobre
- Disponibilitat geogràfica i localització del servei tècnic

Els costos de producció per kWh reals no es sabran fins després del càlcul dels sistemes de gasificació i avaluació econòmica del Projecte però els fabricants inclouen un rendiment aproximat obtingut en plantes experimentals i que representa una primera aproximació als costos de producció.

Així, per a l'elecció del sistema de gasificació es tindrà en compte els rendiments per kWh proporcionats pel fabricant i no és fins als càlculs finals que es veurà el rendiment real.

### **2.5.3 Elecció del sistema de gasificació**

De totes les opcions considerades, s'escull un sistema modular de gasificació de l'empresa GASBI de Biscaia. Aquest sistema està format per un gasificador de corrents paral·leles i un motor de combustió interna. Per tal de cobrir la disponibilitat de residus fustaners s'instal·laran dues plantes del tipus RG-100 de 100 kW<sub>e</sub> de potència cadascuna.

S'escull aquesta opció perquè és l'únic sistema que pot treballar a càrregues pròximes al 100% amb la quantitat de residus disponibles i pels reduïts costos d'operació i manteniment respecte les altres opcions.

### **2.5.4 Funcionament i operació del gasificador**

El gasificador escollit està dissenyat per a poder funcionar 24 hores al dia fins a un total de 8.000 hores anuals. El seu funcionament està automatitzat però requereix un operari per a carregar la matèria prima, retirar els residus i vigilar el funcionament i incidències.

La màxima operativitat del gasificador s'obté quan aquest funciona a plena càrrega durant totes les hores possibles per a que està dissenyat. Els costos fixos unitaris presentaran el seu mínim i en definitiva el preu per kWh produït serà el més baix possible. Ara bé, això presenta una sèrie de reptes per a una serraria que treballa 14 diàries.

D'entrada, cal tenir una provisió de residus per a fer funcionar el gasificador fora de l'horari laboral, la dedicació de l'operari haurà de ser total i no podrà ser combinada amb altres tasques, es produirà un excedent d'energia tèrmica que es pot optar per emmagatzemar, cal un servei tècnic disponible les 24 hores al dia i suposa uns majors costos totals d'explotació i una major complexitat en la planificació operativa del gasificador: manteniment, neteja i reparacions, gestió de residus i serveis varis, etc.

És per això que es considera més adequat que el gasificador funcioni coincidint amb l'horari laboral de l'empresa. Així el gasificador funcionarà un total de 14 hores diàries. Considerant que hi poden haver aturades no programades i atenent al principi de prudència, es considera que el gasificador funcionarà l'equivalent a les hores disponibles de treball, si bé el gasificador no depèn directament de la producció de fusta serrada, sí depèn de la disponibilitat de residus i cal disposar d'un mínim aprovisionament de combustible.

Per tal de que la demanda de combustible no sigui superior a la disponible en la serraria, el funcionament anual del gasificador fixa en un total de 3.125 hores anuals a plena càrrega.

El fabricant indica que al gasificador RG-100 es requereixen 5 hores de treball d'operari repartides al llarg del dia en un gasificador que funcioni 24 hores al dia.



Com que no s'ofereix cap altra dada d'operativitat, suposarem que la dedicació de l'operari guarda una relació lineal amb les hores de funcionament del gasificador i que en una jornada de 14 h. es requereix 3 hores d'operari diàries.

Al cap de l'any això suposa una dedicació de 750 hores d'operari.

### **2.5.5 Emplaçament i superfície ocupada**

La planta de gasificació es planteja com un annex a la serraria i s'ubicarà en una nau o terreny de la mateixa. El fabricant del sistema de gasificació, GASBI, indica una ocupació aproximada de 25 m<sup>2</sup> de superfície per a un mòdul de gasificació RG-100, en els que s'hi inclou el gasificador, el sistema de tractament del gas de síntesi, el grup motor-generador i els sistemes de control.

Tenint en compte que s'instal·laran dos mòduls RG-100, cal preveure una superfície lliure de 50 m<sup>2</sup>. Els terrenys ocupats no es consideraran un cost d'establiment, s'entén que la serraria pot reorganitzar els magatzems on habitualment s'hi emmagatzemaven els residus de fusta per fer-hi cabuda al sistema de gasificació i que un cop finalitzat l'horitzó del projecte, la planta es pot desmantellar i els terrenys poden ser ocupats amb una altra finalitat.

### **2.5.6 Sistemes i equips**

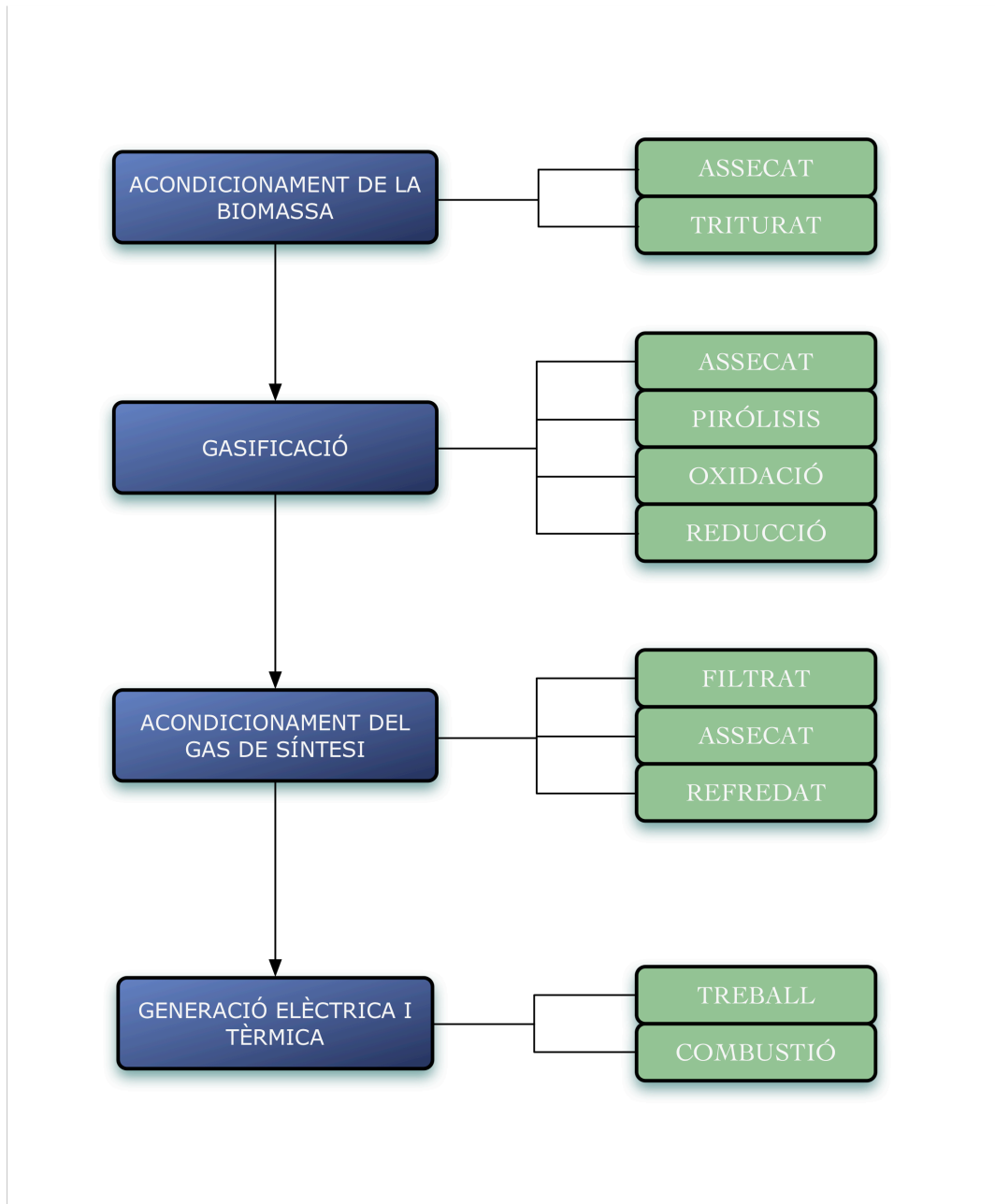
La planta de gasificació consta dels següents sistemes i equips. La seva descripció i funcionament es realitza en l'apartat de descripció del procés de gasificació.

- Sistema d'alimentació de la biomassa
- Sistema de gasificació
- Sistema d'acondicionament del gas de síntesi
- Sistema de generació elèctrica i tèrmica
- Sistemes auxiliars

### 2.5.7 Descripció del procés de gasificació

A continuació es presenta un esquema del procés de gasificació i en els subsegüents apartats s'expliquen amb detall.

**Gràfic 2.5.7 – Esquema del procés de gasificació.**



Font: elaboració pròpia.

### **2.5.7.1 Condicionament i alimentació de la biomassa**

Els residus fustaners secs són transportats des d'un magatzem a la tolva d'acondicionament del gasificador mitjançant una cinta transportadora. S'utilitza una cinta i no un cargol sense fi ja que la cinta permet adaptar-se millor a la utilització de residus de diferent geometria. Per tal d'aconseguir una certa homogeneïtat en la mida de les partícules, tant els retalls de fusta com l'escorça són triturats per una trituradora de tallants.

Un cop triturats, la cinta transportadora els porta fins al sistema d'alimentació de la biomassa, aquest consisteix en un compartiment cilíndric tancat hermèticament per ambdós extrems amb dues vàlvules d'obertura, una d'inferior i una altra de superior.

El control de la quantitat de combustible present en aquest compartiment s'efectua mitjançant dos sensors. Quan el sensor detecta que la quantitat de combustible present al gasificador resulta insuficient, una senyal elèctrica activa l'obertura de la vàlvula inferior del sistema d'alimentació que deixa caure biomassa al gasificador. A continuació es tanca la vàlvula inferior i s'obra la superior, la cinta transportadora comença a funcionar recarregant de biomassa el sistema d'alimentació.

### **2.5.7.2 Gasificació**

El sòlid entra per la part superior del gasificador, experimentant successivament els processos d'assecat i piròlisis al ser sotmès a un augment progressiu de temperatura, fins arribar als 1300° C a la zona d'oxidació. Aquest perfil de temperatures es degut al fet de que la conducció del calor té lloc des de la part inferior, on s'està generant calor mitjançant combustió parcial del combustible (l'oxigen està en defecte) que hi arriba.

Els gasos, quitrans i sòlids residuals continuen descendent i arriben a la zona d'oxidació, en la que es crema una part d'ells mitjançant la injecció d'oxigen en condicions inferiors a les estequiomètriques, proporcionant l'energia necessària per a mantenir tèrmicament el procés.

Els productes reaccionen entre sí, a través de les reaccions de reducció, per augmentar la quantitat i qualitat del combustible en fase gasosa. El gas s'obté per la part inferior del reactor. Els residus sòlids no combustibles generats en la zona de piròlisis no arriben al gas de síntesi sinó que són forçats a travessar la zona d'oxidació a altes temperatures en la qual són parcialment cremats o craquejats.

La descàrrega de cendres és produeix en un sistema discontinu consistent en una graella mòbil amb forats, la qual gira, extreu les cendres i són retirades per un cargol sense fi per a disminuir la seva temperatura, anant a parar a un bidó, el qual disposa de dues vàlvules de tancar per al seu plenat, retirada i recàrrega.

### **2.5.7.3 Condicionament del gas de síntesi**

El gas produït al gasificador arrastra components no desitjats, està calent en excés i conté humitat. Cal condicionar-lo mitjançant un filtrat, rentat, assecat i refredament.

El primer dels processos que es porta a terme és el filtrat. Aquest té la finalitat d'eliminar partícules indesitjades i es produeix mitjançant el cicló, separador centrífug basat en que la densitat de les partícules és generalment de l'ordre de 1.000 vegades més gran que la del gas portador. El cicló és capaç de separar del gas portador partícules sòlides de mida superior a 5 µm.

El gas entra tangencialment per la part superior del cicló i descendeix en trajectòria espiral fins a arribar a la part inferior. Allí la trajectòria s'inverteix de forma que la corrent de gas puja per la part interior oposant-se a l'espiral de descens. El gas abandona el cicló pel conducte de sortida.

Les partícules arrastrades pel gas, al ser més pesades que aquest, són projectades contra la paret interior, amb la que impacten, descendeixen en forma helicoïdal i es recullen a la part inferior del cicló.

Un cop el gas de síntesi ha sortit del cicló és rentat per alliberar-lo dels quitrans que no han pogut ser craquejats al gasificador. Aquest es produeix en un rentador o *scrubber* i permet eliminar partícules sòlides del gas portador per absorció.

El gas entra al rentador per la seva part inferior i es fa passar per una llera d'aigua. Les partícules queden atrapades a la llera d'aigua, el gas de síntesi travessa la llera i surt per la part superior del rentador però queda carregat d'humitat fins al punt de saturació. L'aigua utilitzada en la captura queda carregada de partícules contaminants, per separar-los es deixa reposar l'aigua en un decantador on les partícules sedimenten. L'aigua retorna al rentador mitjançant un circuit tancat.

El gas que surt del rentador encara està calent i saturat d'aigua. El refredament es produeix gradualment en diferents etapes en que a la darrera també s'hi produeix l'assecat.

La primera etapa de refredat es porta a terme a d'intercanviador aire-gas de flux creuat. El dispositiu consta d'una sèrie de fins tubs, per on passa el gas calent, sotmesos per la seva part exterior a una corrent forçada d'aire a temperatura ambient. El gas calent cedeix part de la seva calor a l'aire circulant. Amb aquesta mesura s'aconsegueix preescalfar l'aire que entra al gasificador evitant que s'inverteixi part de la calor provinent de la combustió en escalfar l'aire i per tant, millorant el rendiment global del procés.

Un cop el gas ha creuat l'intercanviador aire-gas es sotmet a la següent fase de refredat, en aquest cas en una caldera de recuperació. La caldera és un recipient a pressió destinat a la generació de vapor d'aigua (energia utilitzable) a partir del calor sobrant d'un gas calent. Consta d'un seguit de tubs longitudinals a l'interior del qual hi circula aigua. El gas calent entra per la part inferior de la caldera, a mesura que va ascendint es refreda i cedeix part de la calor a l'aigua que mitjançant un canvi d'estat es transforma en vapor d'aigua poden assolir pressions altes. El vapor d'aigua es pot emprar com a font d'energia tèrmica o mecànica en altres processos de la indústria.

A la sortida de la caldera el gas arriba a la seva darrera etapa de tractament abans de poder ser emprat en un motor de combustió interna, l'assecat i el refredat fins a temperatura ambiental. Aquesta última etapa es realitza en el condensador.

El condensador és un intercanviador de calor latent en el qual cert fluid que circula pel seu interior, en el nostre cas el gas de síntesi carregat d'humitat, condensa mitjançant la cessione del calor latent de canvi d'estat a un focus fred: un circuit d'aigua freda, aconseguint separar la humitat i vapor d'aigua del gas de síntesi transformant-los a fase líquida on hi queden capturats els residus quitranosos.

El gas, entra per la part superior del condensador i al seu pas es creua amb els tubs d'aigua freda, arribat un punt la temperatura del gas està per sota del punt de rosada i l'aigua continguda condensa en forma de petites gotes a sobre de la superfície dels tubs freds. L'aigua condensada, carregada de quitrans s'evacua per la part inferior del condensador. El gas refredat i sec abandona el condensador per la seva part superior però pel costat oposat per on a entrat. A la sortida ja tenim el gas net, sec i refredat, llest per a ser utilitzat per un motor de combustió interna.

#### **2.5.7.4 Generació elèctrica i tèrmica**

Es realitza mitjançant cogeneració, producció simultània de calor i energia elèctrica. En realitat, el que produeixen aquestes màquines és energia elèctrica que genera un calor sobrant que es tracta d'aprofitar.

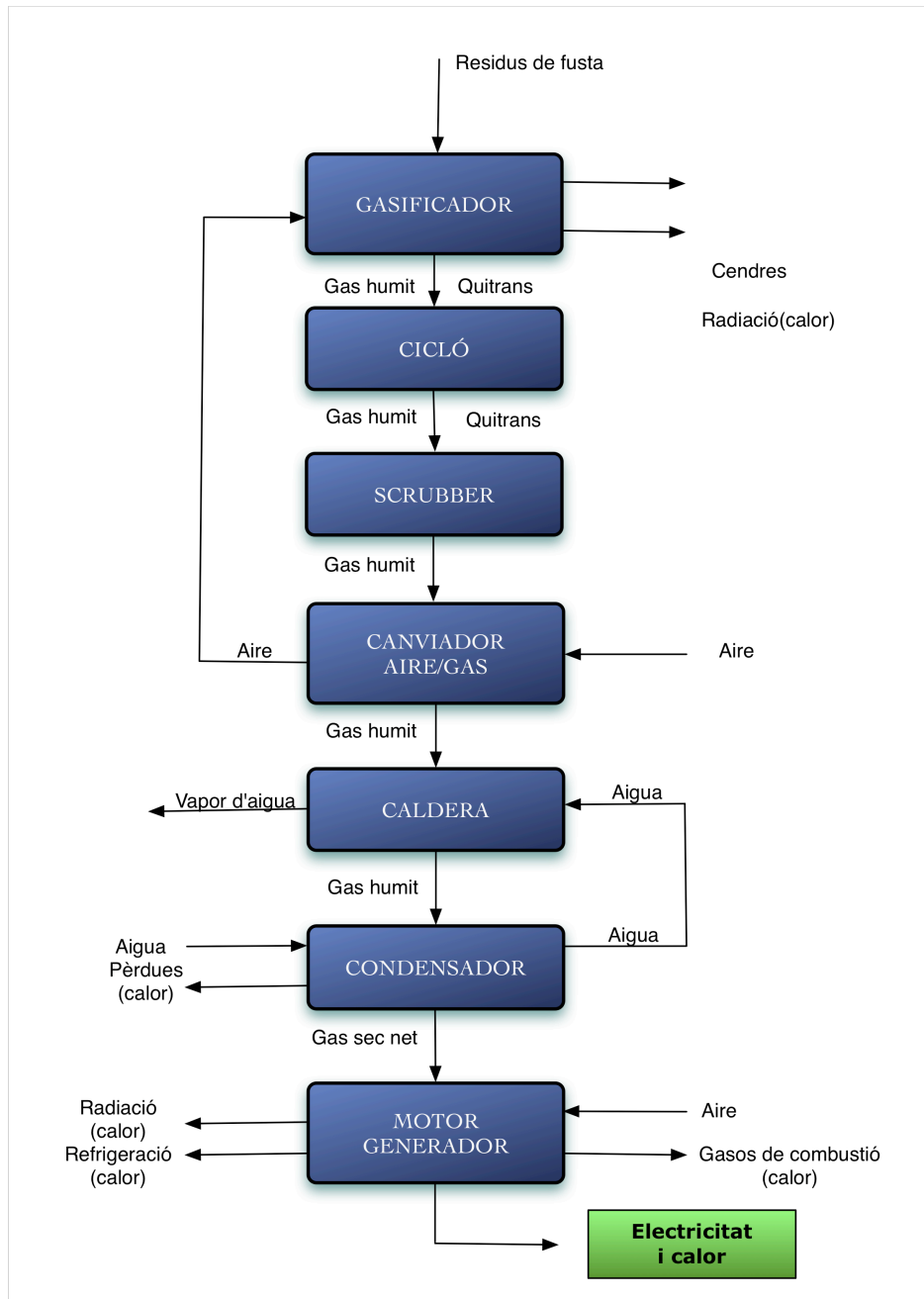
Hi ha tres possibles alternatives de recuperació energètica: motors de combustió interna, turbines de gas i turbines de vapor, per a potències del rang de les que es disposa només és possible generar electricitat de forma eficient mitjançant la combustió en motor alternatiu preparat específicament per ser a utilitzat amb el gas de síntesi.

La generació elèctrica amb un alternador acoblat a un motor de combustió interna es porta a terme en dues fases, la primera transforma l'entalpia dels gasos en energia mecànica mitjançant el motor de combustió interna, la segona en que el motor de combustió interna mou un generador que crea una diferència de potencial elèctric produint així electricitat. Durant les dues fases s'allibera, a més a més, energia tèrmica, aquesta és aprofitada mitjançant un bescanviador de calor en contacte amb el motor i el generador i que transmet l'energia a una massa de vapor d'aigua que s'emmagatzema per al seu posterior aprofitament.

### 2.5.8 Entrades i sortides del sistema

A continuació es mostren les entrades i sortides de matèria i energia al sistema.

**Gràfic 2.5.8. Diagrama d'entrades i sortides del sistema**



Font: elaboració pròpia.

## 2.5.9 Generació elèctrica i tèrmica

Els càlculs energètics es realitzen a partir de la potència subministrada pel motor-generador en base a les hores de funcionament del gasificador.

### 2.5.9.1 Energia elèctrica

Produïda íntegrament pel generador elèctric amb l'energia mecànica provinent del motor.

$$\varepsilon_e = P_e \cdot t \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_e = 3.125 \text{ h} \cdot 194,34 \text{ kW}_e = 607,31 \text{ MWh}_e$$

### 2.5.9.2 Energia tèrmica

Produïda pel grup motor-generador en cogeneració. L'energia tèrmica prové de la fricció de les parts mecàniques del motor, efecte joule del generador, radiació i el calor sensible dels gasos de combustió. L'energia tèrmica sobrant generada en el gasificador durant la combustió de biomassa no s'aprofita i es perd en forma de radiació.

$$\varepsilon_t = P_t \cdot t \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_t = 3.125 \text{ h} \cdot 280 \text{ kW}_h = 875,00 \text{ MWh}_t$$

La energia tèrmica produïda es destinarà a l'assecat de la fusta en forns, l'excedent tèrmic s'alliberarà a l'ambient o es vendrà a empreses properes. L'estalvi de combustibles per l'aprofitament tèrmic es tindrà en compte a l'anàlisi de viabilitat. Per tal de conèixer l'estalvi generat per l'energia tèrmica es compararà l'energia tèrmica necessària per a l'assecat en forns amb la quantitat de gasoil necessari per a produir la mateixa quantitat d'energia i se'n calcularà al preu de mercat.

Partint de l'energia tèrmica generada en el procés de gasificació, es canvien les unitats al S.I. per a poder-ho comparar amb l'energia consumida durant l'assecat.

$$875,00 \text{ MWh}_t = 3,15 \cdot 10^9 \text{ kJ}$$

Aquest valor és superior a la energia tèrmica consumida en l'assecat en forn que ascendeix a  $2,31 \cdot 10^9$  kJ. Per tant hi haurà un excedent d'energia tèrmica que s'haurà de dissipar a l'ambient o vendre a una indústria propera.



Les dades del gasoil s'obtenen de l'empresa CHL, Compañía Logística de Hidrocarburos. Per als càlculs es considera gasoil tipus C per a ús en motors tèrmics, de PCI de 40.964 kJ/kg, de densitat 850 kg/m<sup>3</sup>, cremat en una caldera de recuperació de calor amb un rendiment del 85%. El càlcul es realitza fàcilment dividint l'energia tèrmica necessària en l'assecat pel rendiment de la caldera.

$$\frac{2,31 \cdot 10^9 \text{ kJ}}{0,85} = 2,72 \cdot 10^9 \text{ kJ}$$

Finalment ja només ens queda dividir pel poder calorífic del gasoil per obtenir la quantitat equivalent de gasoil que s'hagués consumit per a produir la mateixa quantitat energia tèrmica.

$$\frac{2,72 \cdot 10^9 \text{ kJ}}{40.964 \text{ kJ/kg}} = 66.399,7 \text{ kg} \Rightarrow \frac{66.399,7 \text{ kg}}{0,85 \text{ kg/l}} = 78.117,3 \text{ litres}$$

En conclusió, l'energia tèrmica generada suposa per a l'empresa un estalvi equivalent a 78.117,3 litres o el que és el mateix 66,39 tones de gasoil.

L'excedent d'energia tèrmica suma 1,39·10<sup>6</sup> kJ. Aquest es pot alliberar a l'ambient o vendre a altres indústries properes amb necessitats tèrmiques. Per a simplificar els càlculs, es considerarà la venda d'excedent d'energia tèrmica com un estalvi equivalent de gasoil amb les mateixes condicions d'eficiència energètica que en el cas anterior, aquest serà sumat a l'energia tèrmica consumida a la serraria.

$$\frac{3,70 \cdot 10^9 \text{ kJ}}{40.964 \text{ kJ/kg}} = 90.466,8 \text{ kg} \Rightarrow \frac{90.466,8 \text{ kg}}{0,85 \text{ kg/l}} = 106.431,5 \text{ litres}$$

En definitiva, si a més es considera la venda de l'excedent tèrmic suposa un estalvi equivalent a 106.431,5 litres o el que és el mateix 90,47 tones de gasoil.

## 2.6 Residus de la gasificació

Com a conseqüència de la descomposició tèrmica de la biomassa que es produeix durant la combustió es generen una sèrie de residus de diferent naturalesa que no aporten cap valor al gas. Alguns d'ells són aprofitables i comercialitzables, altres són contaminants i la seva emissió a l'atmosfera està regulada per normatives.

### 2.6.1 Cendres del gasificador

La cendra és un residu en forma de pols mineral generat durant el procés de gasificació, composta, essencialment per materials inorgànics inerts continguts en la biomassa.

S'alliberen per vaporització o com a resultat d'una reacció química, sovint representen un problema pels gasificadors ja que poden fragmentar-se, fusionar-se o reaccionar. És necessari extreure-les periòdicament. Les partícules cendroses queden dipositades per sota de la llera on són extretes i conduïdes per un cargol sense fi a un contenidor per un sistema automatitzat d'extracció. La resta de partícules que poden quedar en el gas, generalment de mida inferior, surten del gasificador en forma de partícules sòlides barrejades amb el gas de síntesi i són separades a posteriori pel sistema de tractament de gasos.

No es tenen dades experimentals per a la planta GASBI de la composició de cendres i es prenen com a valors de referència els obtinguts per la Universitat de Viena per a residus fustaners de *Pinus sylvestris* en un gasificador de corrents paral·leles.

**Taula 2.6.1a. Composició de les cendres**

Component	Massa (%)	Component	ppm
SiO	39	Pb	340
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,36	Cd	10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,09	Cu	305
CaO	30,13	Mn	7745
MgO	3,02		
Na <sub>2</sub> O	0,99		
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O	6,44		

Font: BioBIB – A database for biofuels. Universitat de Viena (11).

Les cendres, per la seva composició química, són molt valorades com a fertilitzant i tenen valor comercial, però la quantitat en que es generen a la nostra planta no justifica

la gestió dels residus de cendra amb valor comercial ja que els costos d'explotació són superiors als ingressos per la seva venda. La seva retirada es produeix per un agent autoritzat a cost zero.

Poden causar varietat de problemes particularment als gasificadors de corrents paral·leles i contracorrent. Tenen un comportament diferent a la zona de reducció que a la zona d'oxidació i la fusió de cendres al reactor pot comportar la formació d'escòria. Si no es prenen mesures especials, en el millor dels casos la escòria contribueix a una major formació excessiva de quitrans, bloquejant les entrades i sortides del gasificador. Un cas més greu suposaria la formació de canals d'aire amb risc d'explosió del gasificador (3).

La quantitat i naturalesa de cendres generades depèn del tipus, humitat i condicions de la biomassa, del tipus de gasificador i la temperatura de treball d'aquest. Considerant unes condicions homogènies del residu, GASBI ha determinat experimentalment a la planta pilot el flux màssic de cendres generades.

**Taula 2.6.1b. Flux màssic de cendres**

	<b>biomassa</b>	<b>cendres</b>	<b>ràtio</b>
flux (kg/h)	215,93	10,61	5 %

Font: Informe Datos Técnicos Abril 2008, GASBI (12).

Aquestes dades contrasten amb les obtingudes per la Universitat de Viena per a residus fustaners de *Pinus sylvestris* en un gasificador de corrents paral·leles que estimen una relació de 0,5 % de cendres per cada kilogram de biomassa.

Les cendres són recollides pel cicló i dipositades en una safata. L'operari s'encarrega de buidar la safata i emmagatzemar-les en un bidó per a la seva posterior venda.

## **2.6.2 Partícules sòlides**

Les partícules sòlides consisteixen en fines partícules minerals i de carbó (hollín) de color negre producte de la combustió incompleta d'hidrocarburs. Són contaminants per l'atmosfera, la fauna i la flora i contribueixen a l'escalfament global degut a la gran capacitat d'absorció de calor que tenen. Poden provocar problemes de funcionament al

motor de combustió interna, però s'eviten fàcilment retirant-los durant la fase de tractament del gas.

Es recol·leixen en una safata intercanviable durant el filtrat del gas pobre, l'operari és l'encarregat de buidar la safata i dipositar el residu en un bidó. Aquest, un cop ple és retirat per l'empresa gestora dels residus que s'encarrega de tractar-los.

**Taula 2.6.2. Flux màssic de partícules sòlides**

	<b>biomassa</b>	<b>partícules</b>	<b>ràtio</b>
flux (kg/h)	215,93	2,76	1,3 %

Font: Informe Datos Técnicos Abril 2008, GASBI (12).

### 2.6.3 Quitrans

Els denominats genèricament com a quitrans són en realitat una extensa família d'hidrocarburs de cadena llarga que comencen amb la sèrie de l'antracè. S'originen en la gasificació i combustió de biomassa i es troben en estat líquid viscos. La seva presència en els processos de combustió, en particular en la gasificació és fonamental per a la explotació de la planta.

Des del punt de vista operacional el gran problema és que a les temperatures d'operació, sempre superiors als 500° C, els quitrans es troben en forma de vapor i per tant el seu comportament és similar al dels gasos, no obstant, quan el gas de síntesi es refreda, els quitrans es condensen i provoquen una sèrie de problemes tècnics que poden ser greus. La concentració de quitrans es funció de la temperatura de gasificació, del temps de residència, del tipus de reactor utilitzat i de la substància que es gasifica.

Es pot utilitzar el rentat de gasos com a mètode efectiu de separació dels quitrans de la corrent gasosa mitjançant una captura física amb coalescència. Aquest sistema origina un efluent amb gran quantitat d'aigua contaminada tot i que pot ser tractada per mètodes biològics usals.

Hi ha dues formes bàsicament de destruir els quitrans: per craqueig catalític, utilitzant per exemple roca dolomita (carbonat doble de calci i magnesi) o níquel, per craqueig tèrmic, per exemple per oxidació parcial o per contacte tèrmic directe.

- Craqueig catalític: a temperatures de 800-900° C. És el mètode utilitzant en els gasificadors de llera fluïditzada. Normalment el craqueig es produeix en un segon reactor amb dolomita o níquel.
- Craqueig tèrmic: a temperatures de 800-1000 °C, essent molt efectiu a 1300 °C. És el mètode utilitzat en els gasificadors de llera fixa i mòbil. Els quitrans de biomassa són més fàcils de craquejar per aquest camí. Hi ha varies formes en que es porta a terme: incrementar el temps de residència dels quitrans al reactor, contacte directe amb una superfície mantinguda a alta temperatura, per oxidació parcial introduint aire o oxigen o utilitzar temperatures més elevades a la part final del gasificador. Als gasificadors de corrents paral·leles i a contracorrent s'assoleixen temperatures de 1300 °C i els quitrans es craquegen fàcilment.

El gasificador escollit per al Projecte és de corrents paral·leles, el craqueig de quitrans es produeix naturalment per efecte tèrmic i no suposen un problema operatiu al gasificador.

**Taula 2.6.3. Flux màssic de quitrans**

	<b>biomassa</b>	<b>quitrans</b>	<b>ràtio</b>
flux (kg/h)	215,93	0,27	0,13 %

Font: Informe Datos Técnicos Abril 2008, GASBI (12).

Els quitrans restants es separen a la fase humida de refredament del gas i es reutilitzen barrejant-los amb la biomassa d'entrada per a que siguin sotmesos a craqueig tèrmic.

## **2.6.4 Gasos de combustió**

Són el resultat de la combustió del gas pobre i s'emeten a l'atmosfera a través del tub d'escapament del motor. Estan constituïts per una barreja de gasos: monòxid de carboni, diòxid de carboni, òxids de nitrogen, òxids de sofre i partícules en suspensió. Alguns d'aquests gasos són inerts i d'altres són contaminants i la seva emissió a l'atmosfera està regulada per normatives comunitàries de la Unió Europea.

**Taula 2.6.4. Flux màssic dels gasos de combustió**

	<b>biomassa</b>	<b>efluents</b>	<b>ràtio</b>
flux (kg/h)	215,93	1061,00	500 %

Font: Informe Datos Técnicos Abril 2008, GASBI (12).

No es té dades ni de la quantitat ni la composició dels gasos de combustió. La emissió de gasos d'escapament s'haurà d'ajustar a la normativa europea, de no ser així caldrà tenir en compte mesures correctives tals com la instal·lació de catalitzadors o canviar el motor de combustió.

### 2.6.4.1 Contaminants

La emissió de gasos considerats contaminants s'ha d'ajustar als valors límit de la Directiva 2001/80/CE sobre la limitació d'emissions a l'atmosfera de determinats agents contaminants procedents d'instal·lacions de combustió.

Els Estats membre han d'adoptar les mesures necessàries per a que les concentracions de diòxid de sofre, òxids de nitrogen i partícules a l'aire ambient no excedeixi dels valors límits fixats en la secció I de l'annex IV de la Directiva. Per a les instal·lacions de biomassa prenen els següents valors:

**Taula 2.6.4.1 Valors límits emissions SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, partícules**

<b>Valors límit mg/Nm<sup>3</sup></b>	<b>50 a 100 MWth</b>	<b>100 a 300 MWth</b>	<b>&gt; 300 MWth</b>
SO <sub>2</sub> (O <sub>2</sub> 6%)	200	200	200
NO <sub>x</sub> (O <sub>2</sub> 3%)	400	300	200
Partícules	50		30

Font: Informe Datos Técnicos Abril 2008, GASBI (12).

Els residus de fusta tant sòls contenen un 0,1% de nitrogen i un 0,01% de sofre en la seva composició, l'aire que s'injecta al gasificador és aire atmosfèrica compost d'oxigen i nitrogen en un 21 i 78% respectivament. Les emissions d'òxid de sofre que cal esperar seran molt baixes comparades amb les combustibles fòssils.

## 2.7 Pressupost

### 2.7.1 Previsió de costos

#### 2.7.1.1 Inversió

La inversió necessària es pressuposta a partir del cost d'adquisició, transport i instal·lació del sistema de gasificació RG-100 (100 kW de potència elèctrica): preu estimat 363.000 € per mòdul (GASBI, Informe Datos Técnicos Abril 2008).

Com que s'instal·len 2 mòduls RG-100 la inversió puja a 726.000 €.

La inversió inclou l'adquisició dels equips, la realització d'instal·lacions i la obra civil de connexió de la xarxa, la redacció del Projecte d'enginyeria i direcció d'obra, l'assegurança i despeses generals.

#### 2.7.1.2 Despeses d'explotació

Les despeses d'operació, manteniment i personal s'estimen a partir de les dades experimentals obtingudes per GASBI S.L. a la planta pilot de cogeneració.

**Taula 2.7.1.2. Despeses d'explotació**

	<b>unitat</b>	<b>preu</b>	<b>rendiment</b>	<b>subtotal (€)</b>
<b>Consums</b>				<b>33.054,06</b>
Retalls de fusta	€/m <sup>3</sup>	30,0000	980	29.400,00
Escorça	€/tn	20,0000	126	2.520,00
Aigua <sup>1</sup>	€/m <sup>3</sup>	1,6000	100	160,00
Altres subministres	€/h	0,3117	3.125	974,06
<b>Despeses d'operació</b>				<b>1.971,00</b>
Gerència i control remot	€/kWh	0,0029	675.000	1.971,00
Gestió de residus	€/kWh	0,0000	675.000	0,00
<b>Despeses de manteniment</b>	€			<b>12.420,00</b>
Manteniment del gasificador	€/kWh	0,0036	675.000	2.430,00
Manteniment del grup motor-generator	€/kWh	0,0098	675.000	6.615,00
Overhaul – Revisió completa	€/kWh	0,0050	675.000	3.375,00
<b>Despeses de personal</b>				<b>9.000,00</b>
Operari	€/h	12,0000	750	9.000,00
<b>Despeses en serveis externs</b>				<b>1.012,50</b>
Assegurança	€/kWh	0,0015	675.000	1.012,50
<b>Total (€)</b>				<b>57.457,56</b>

Font: elaboració pròpia.

<sup>1</sup> Ministerio de Medio Ambiente. Informe sobre la situación actual y evolución de los ingresos y tarifas de los servicios urbanos del agua (2007).

### 2.7.1.3 Despeses financeres

Les despeses financeres estan relacionades amb el finançament de la inversió inicial i impliquen la amortització total del capital sigui provinent de recursos propis o aliens.

La inversió inicial que realitza una empresa no pot ser pagada mai completament per recursos propis de l'empresa. Està demostrat que la rendibilitat sobre recursos propis augmenta com més capital aliè s'utilitza, si la rendibilitat del capital total és superior al cost del capital aliè (10).

S'opta per finançar externament el 70% de la inversió mitjançant un préstec bancari a 8 anys amb amortització progressiva d'anualitats constants sense anys de carència.

Fent comptes, el finançament de la inversió implica que la empresa haurà d'aportar un total de 217.800 € de capital i els 508.200 € restants es demanaran en préstec bancari.

El retorn del capital prestat o principal resulta de 8 quotes anuals de 63.525 € cadascuna.

### 2.7.2 Previsió d'ingressos

La totalitat dels ingressos provenen de la venda d'energia elèctrica a la xarxa.

Primers quinze anys:  $I = 10,9039 \text{ c €/kWh}_e$

A partir de llavors:  $I = 6,6506 \text{ c €/kWh}_e$

Tenint en compte una producció anual de 607.310 kWh<sub>e</sub>.

Primers quinze anys:  $I = 66.220,47 \text{ €}$

A partir de llavors:  $I = 40.389,76 \text{ €}$



### 2.7.3 Estalvi en gasoil

Per a la valoració econòmica de l'estalvi de gasoil degut a l'aprofitament de l'energia tèrmica generada es prendrà com a referència 0,85 € el litre de gasoil.

En realitat el preu de gasoil varia segons zones geogràfiques i empresa distribuïdora i és difícil prendre una tarifa mitjana. Així es considera un preu de gasoil que intenta ser un reflex del preu mig amb IVA a juny del 2009.

Partint dels litres equivalents de gasoil es calcula el valor del gasoil estalviat:

$$78.117,3l \times 0,85 \text{ €/l} = 66.399,7 \text{ €}$$

Si a més es té en compte la venda d'excedent tèrmic:

$$106.431,5l \times 0,85 \text{ €/l} = 90.466,8 \text{ €}$$

Recapitulant, l'aprofitament de l'energia tèrmica en l'assecat en forns produeix un estalvi anual de 66.399,7 €, si se li suma els ingressos per venda d'excedent tèrmic, suposa un estalvi equivalent de 90.466,8 €.

## **2.8 Estudi de viabilitat econòmico-financera**

Tot projecte d'inversió suposa una afectació de factors monetaris per a implicar-los en l'activitat empresarial productiva. Tots els recursos materialitzats en la inversió, han de suposar la generació d'esperança futura de guanys justificats prèviament per un estudi.

L'anomenat estudi de viabilitat econòmica pretén comprovar la justificació de la inversió i el seu resultat depèn per damunt de tot dels costos anuals de la planta de gasificació. Per a l'esmentat estudi cal tenir present una sèrie de paràmetres que es fixaran i avaluaran mitjançant un anàlisi de sensibilitat.

### **2.8.1 Paràmetres del Projecte d'inversió**

#### **2.8.1.1 Horitzó del Projecte**

L'horitzó del Projecte es determina en la vida útil dels actius de la inversió, en aquest cas de la planta de gasificació i tots els seus elements. Es un horitzó temporal de 20 anys.

#### **2.8.1.2 Finançament**

Existeixen ajudes i subvencions a nivell estatal i autonòmic per al finançament en instal·lacions de plantes de generació amb biomassa.

A nivell estatal el PER 2005-2010, Plan de Energías Renovables, a través de l'IDAE, preveu préstecs amb condicions especials i subvencions per a les plantes de generació amb biomassa. Paral·lelament a Catalunya l'ICAEN, Institut Català de l'Energia atorga subvencions a les actuacions de producció i aprofitament de l'energia del gas de síntesi.

Com que el que es pretén és fer un estudi de viabilitat economico-financera, interessa ser cautelosos a l'hora de considerar el balanç empresarial. Les subvencions no sempre estaran disponibles, algun dia deixaran de donar-se i a partir de llavors els Projectes hauran de ser viables per sí mateix. És per això que es decideix prescindir de les subvencions en l'estudi de viabilitat.

Es preveu que el finançament sigui amb un 30% de recursos propis i un 70% de finançament extern mitjançant l'adquisició d'un crèdit bancari.

### **2.8.1.3 Fluxos de caixa**

La determinació dels fluxos de caixa es realitza a l'anàlisi de sensibilitat a partir de les dades del pressupost i tenint en compte l'amortització del capital subscrit, els impostos i les despeses financeres.

En l'estudi de sensibilitat es tindran en compte tres supòsits de fluxos de caixa en funció de les rendes esperades:

- Supòsit 1: es té en compte els ingressos per la venda d'energia elèctrica, l'aprofitament d'energia tèrmica en processos de la serraria i la venda d'excedent tèrmic.
- Supòsit 2: es té en compte els ingressos per la venda d'energia elèctrica i l'estalvi de combustibles fòssils per l'aprofitament d'energia tèrmica però no la venda de l'excedent tèrmic.
- Supòsit 3: només es té en compte els ingressos per la venda d'energia elèctrica.

La raó d'aquests tres supòsits és estimar en quines condicions d'aprofitament energètic resulta viable la gasificació

### **2.8.1.4 Inflació i tipus d'interès**

La previsió d'inflació és un paràmetre de gran incertesa ja que és difícil establir una previsió per als pròxims anys. La inflació va lligada als cicles macroeconòmics de creixement i recessió d'un país, cicles que es repeteixen generalment cada 4-8 anys. Així, en un període de recessió com el que s'està passant actualment la inflació és negativa.

Degut a aquesta incertesa, la inflació és un paràmetre que no es fixarà i es consideraran dos possibles escenaris inflacionistes en l'anàlisi de sensibilitat. Un d'ells preveu l'alça dels preus anual d'un 3% i l'altre en un 3,5% de mitja.

El tipus d'interès bancari té una forta vinculació amb el tipus d'interès interbancari i el preu del diner i presenta un alt grau d'incertesa. Els factors que determinen aquests valors són diversos i no s'estudiaran aquí. En l'anàlisi de sensibilitat es consideren tres escenaris tendencials del tipus d'interès en els que el tipus d'interès se situa al 4%, al 5% i al 6% de mitja anual.

### **2.8.2 Criteris de rendibilitat**

Són paràmetres que ens ajuden a avaluar la viabilitat econòmica d'un Projecte. La inversió s'avaluarà segons quatre criteris que s'expliquen a continuació.

#### **2.8.2.1 El valor actualitzat net (VAN)**

Es defineix com la diferència entre el valor actualitzat dels fluxos de caixa i de la inversió.

L'avaluació de la rendibilitat segons aquest criteri ens permet conèixer el montant de diners nets que queden dels guanys actualitzats un cop restats els desemborsaments de la inversió degudament actualitzats.

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{FC_i}{(1+i)^j} - I_0$$

Segons aquest criteri:

- Si  $VAN > 0$  el projecte es viable econòmicament.
- Si  $VAN < 0$  el projecte no és viable econòmicament.
- Si  $VAN = 0$  el projecte no genera ni beneficis ni pèrdues.

#### **2.8.2.2 La taxa interna de rendiment (TiR)**

Es defineix com aquella taxa de descompte dels fluxos de caixa amb la qual el VAN és igual a zero. Els fluxos de caixa rendibilitzen la inversió amb el valor d'aquesta taxa. A major TIR major rendiment econòmic.

$$VA \sum FC_i = VA \sum I_0$$

Segons aquest criteri

- Si la  $TiR >$  valor de l'interès compost anual mig, s'accepta la inversió.
- Si la  $TiR <$  valor de l'interès compost anual mig, es rebutja la inversió.

### **2.8.2.3 Ràtio VAN/Inversió**

Es defineix com la relació entre el VAN i el valor actualitzat de la inversió. És un criteri relatiu que expressa el nombre d'euros de guanys nets actualitzats per euro invertit. A major ràtio VAN/Inversió major rendiment econòmic té el projecte.

### **2.8.2.4 Plaç de recuperació o payback**

Es defineix com el plaç de temps necessari per a que els fluxos de caixa actualitzats igualin el valor actualitzat de la inversió. Expressat d'una altra manera és el plaç de temps necessari perquè els guanys permetin pagar la inversió.

Segons aquest criteri a menor plaç de recuperació menor és el risc que s'està corrent amb la inversió i major la rendibilitat.

## **2.8.3 Anàlisi de sensibilitat**

L'anàlisi de sensibilitat busca estudiar la rendibilitat de la inversió tenint en compte diferents escenaris tendencials per a les variables de major incertesa: la inflació i el tipus d'interès bancari.

S'ha definit tres escenaris en els que es varien els valors de la inflació i el tipus d'interès segons les expectatives econòmiques per a cada supòsit de fluxos de caixa.

- Escenari optimista: es considera una inflació del 3% i un tipus d'interès del 4%.
- Escenari normal: es considera una inflació del 3,5% i un tipus d'interès del 5%.
- Escenari pessimista: es considera una inflació del 3,5% i un tipus d'interès del 6%.

En les següents pàgines es mostren els càlculs de l'anàlisi de sensibilitat i els resultats obtinguts.

SUPÒSIT 1 - ESCENARI OPTIMISTA																				
Flux de biomassa	220	kg/h	687,5	Tn/any	Inversió	726.000	€			Amortització	12	anys			Operació	0,0029	€/kWh			
PCI Biomassa	16.749	kJ/kg			Capital propi	217.800	€			Període del préstec	8	anys			Manteniment	0,0184	€/kWh			
Potència elèctrica	200	kW			Subvenció	0	€			Retorn principal	63.525	€			Assegurança	0,0015	€/kWh			
Producció elèctrica	607,3	MWh			Financiació externa	508.200	€			Inflació	3	%			Retalls fusta	30	€/m <sup>3</sup>			
Potència tèrmica	280	kW								Interés bancari	4	%			Escorça	20	€/tn			
Producció tèrmica	875,0	MWh													Gasoil	0,85	€/l			
	2010	2011	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ESCENARI ECONÒMIC DE PREUS																				
Variació preu venda electricitat (%)	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Preu de venda electricitat (€/kWh)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06
Preu dels retalls de fusta (€/m3)	30,00	30,90	31,83	32,78	33,77	34,78	35,82	36,90	38,00	39,14	40,32	41,53	42,77	44,06	45,38	46,74	48,14	49,59	51,07	52,61
Preu escorça (€/tn)	20,00	20,60	21,22	21,85	22,51	23,19	23,88	24,60	25,34	26,10	26,88	27,68	28,52	29,37	30,25	31,16	32,09	33,06	34,05	35,07
Preu gasoil (€/l)	0,85	0,88	0,90	0,93	0,96	0,99	1,01	1,05	1,08	1,11	1,14	1,18	1,21	1,25	1,29	1,32	1,36	1,40	1,45	1,49
COMPTE DE PÈRDUES I GUANYS (milers €)																				
Ingressos	156,7	160,2	163,9	167,8	171,8	175,9	180,1	184,4	188,8	193,4	198,1	202,8	207,8	212,8	218,0	222,6	228,0	233,6	239,4	245,3
Venda d'electricitat	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Estalvi de gasoil	90,5	93,2	96,0	98,9	101,8	104,9	108,0	111,3	114,6	118,0	121,6	125,2	129,0	132,9	136,8	140,9	145,2	149,5	154,0	158,6
Despeses	57,5	59,2	61,0	62,8	64,7	66,6	68,6	70,7	72,8	75,0	77,2	79,5	81,9	84,4	86,9	89,5	92,2	95,0	97,8	100,8
Consums	33,1	34,0	35,1	36,1	37,2	38,3	39,5	40,7	41,9	43,1	44,4	45,8	47,1	48,5	50,0	51,5	53,0	54,6	56,3	58,0
Manteniment	2,0	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Operació	12,4	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,8	15,3	15,7	16,2	16,7	17,2	17,7	18,2	18,8	19,3	19,9	20,5	21,1	21,8
Personal	9,0	9,3	9,5	9,8	10,1	10,4	10,7	11,1	11,4	11,7	12,1	12,5	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,9	15,3	15,8
Serveis externs	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8
Marge d'exploració	99,2	101,0	102,9	105,0	107,1	109,3	111,5	113,7	116,0	118,4	120,8	123,3	125,8	128,4	131,1	133,0	135,8	138,6	141,5	144,5
Amortització	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5
Benefici abans despeses financeres	38,7	40,5	42,4	44,5	46,6	48,8	51,0	53,2	55,5	57,9	60,3	62,8	125,8	128,4	131,1	133,0	135,8	138,6	141,5	144,5
Despeses financers	20,3	17,8	15,2	12,7	10,2	7,6	5,1	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Benefici abans d'impostos	18,4	22,8	27,2	31,8	36,4	41,1	45,9	50,7	55,5	57,9	60,3	62,8	125,8	128,4	131,1	133,0	135,8	138,6	141,5	144,5
Impost de societats (35%)	6,4	8,0	9,5	11,1	12,7	14,4	16,1	17,7	19,4	20,3	21,1	22,0	44,0	45,0	45,9	46,6	47,5	48,5	49,5	50,6
Benefici després d'impostos (BdI)	12,0	14,8	17,7	20,6	23,7	26,7	29,8	32,9	36,1	37,6	39,2	40,8	81,8	83,5	85,2	86,5	88,3	90,1	92,0	93,9
FINANÇAMENT DEL PROJECTE (milers €)																				
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Préstec viu	508,2	444,7	381,2	317,6	254,1	190,6	127,1	63,5												
Despeses financeres	20,3	17,8	15,2	12,7	10,2	7,6	5,1	2,5												
TRESORERIA (milers €)																				
Flux de Caixa net (BdI+Amortitzacions)	72,5	75,3	78,2	81,1	84,2	87,2	90,3	93,4	96,6	98,1	99,7	101,3	81,8	83,5	85,2	86,5	88,3	90,1	92,0	93,9
Flux de Caixa Actualitzat	69,7	67,0	64,4	61,9	59,6	57,3	55,1	52,9	50,9	49,0	47,1	45,3	43,5	41,8	40,2	38,7	37,2	35,8	34,4	33,1
Flux de Caixa Actualitzat acumulat	-656,3	-589,3	-524,9	-463,0	-403,4	-346,2	-291,1	-238,1	-187,2	-138,3	-91,2	-46,0	-2,4	39,4	79,6	118,3	155,5	191,3	225,7	258,8
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Saldo a final d'any	8,9	11,8	14,6	17,6	20,7	23,7	26,8	29,9	96,6	98,1	99,7	101,3	81,8	83,5	85,2	86,5	88,3	90,1	92,0	93,9
VAN(20 anys) = 258.800 €																				
Període de retorn = 14 anys																				
TiR = 14,1 %																				
Ratio VAN/I = 0,36																				

SUPÒSIT 1 - ESCENARI NORMAL																				
Flux de biomassa	220	kg/h	687,5	Tn/any	Inversió	726.000	€			Amortització	12	anys			Operació	0,0029	€/kWh			
PCI Biomassa	16.749	kJ/kg			Capital propi	217.800	€			Període del préstec	8	anys			Manteniment	0,0184	€/kWh			
Potència elèctrica	200	kW			Subvenció	0	€			Retorn principal	63.525	€			Assegurança	0,0015	€/kWh			
Producció elèctrica	607,3	MWh			Financiació externa	508.200	€			Inflació	3,5	%			Retalls fusta	30	€/m³			
Potència tèrmica	280	kW								Interés bancari	5	%			Escorça	20	€/tn			
Producció tèrmica	875,0	MWh													Gasoil	0,85	€/l			
	2010	2011	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ESCENARI ECONÒMIC DE PREUS																				
Variació preu venta electricitat (%)	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Preu de venta electricitat (€/kWh)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06
Preu dels retalls de fusta (€/m3)	30,00	31,05	32,14	33,26	34,43	35,63	36,88	38,17	39,50	40,89	42,32	43,80	45,33	46,92	48,56	50,26	52,02	53,84	55,72	57,68
Preu escorça (€/tn)	20,00	20,70	21,42	22,17	22,95	23,75	24,59	25,45	26,34	27,26	28,21	29,20	30,22	31,28	32,37	33,51	34,68	35,89	37,15	38,45
Preu gasoil (€/l)	0,85	0,88	0,91	0,94	0,98	1,01	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20	1,24	1,28	1,33	1,38	1,42	1,47	1,53	1,58	1,63
COMPTE DE PÈRDUES I GUANYS (milers €)																				
Ingressos	156,7	160,7	164,8	169,2	173,7	178,4	183,3	188,2	193,4	198,6	204,1	209,7	215,5	221,5	227,6	233,2	239,7	246,4	253,4	260,5
Venta d'electricitat	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Estalvi de gasoil	90,5	93,6	96,9	100,3	103,8	107,4	111,2	115,1	119,1	123,3	127,6	132,1	136,7	141,5	146,4	151,6	156,9	162,4	168,0	173,9
Despeses	57,5	59,5	61,5	63,7	65,9	68,2	70,6	73,1	75,7	78,3	81,0	83,9	86,8	89,9	93,0	96,3	99,6	103,1	106,7	110,5
Consums	33,1	34,2	35,4	36,6	37,9	39,3	40,6	42,1	43,5	45,0	46,6	48,3	49,9	51,7	53,5	55,4	57,3	59,3	61,4	63,5
Manteniment	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,7	3,8
Operació	12,4	12,9	13,3	13,8	14,3	14,8	15,3	15,8	16,4	16,9	17,5	18,1	18,8	19,4	20,1	20,8	21,5	22,3	23,1	23,9
Personal	9,0	9,3	9,6	10,0	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,6	14,1	14,6	15,1	15,6	16,2	16,7	17,3
Serveis externs	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9
Resultat d'exploració	99,2	101,2	103,2	105,5	107,8	110,2	112,6	115,1	117,7	120,3	123,0	125,8	128,7	131,6	134,6	136,9	140,1	143,3	146,7	150,1
Amortització	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5
Benefici abans despeses financeres	38,7	40,7	42,7	45,0	47,3	49,7	52,1	54,6	57,2	59,8	62,5	65,3	68,1	70,9	73,6	76,3	79,0	81,7	84,4	87,1
Despeses financeres	25,4	22,2	19,1	15,9	12,7	9,5	6,4	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Benefici abans d'impostos	13,3	18,5	23,7	29,1	34,6	40,2	45,8	51,5	57,2	59,8	62,5	65,3	68,1	70,9	73,6	76,3	79,0	81,7	84,4	87,1
Impost de societats (35%)	4,7	6,5	8,3	10,2	12,1	14,1	16,0	18,0	20,0	20,9	21,9	22,9	23,9	24,9	25,9	26,9	27,9	28,9	29,9	30,9
Benefici després d'impostos (BdI)	8,7	12,0	15,4	18,9	22,5	26,1	29,8	33,4	37,2	38,9	40,6	42,5	44,4	46,3	48,2	50,1	52,0	53,9	55,8	57,7
FINANÇAMENT DEL PROJECTE (milers €)																				
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Préstec viu	508,2	444,7	381,2	317,6	254,1	190,6	127,1	63,5												
Despeses financeres	25,4	22,2	19,1	15,9	12,7	9,5	6,4	3,2												
TRESORERIA (milers €)																				
Flux de Caixa net (BdI+Amortitzacions)	69,2	72,5	75,9	79,4	83,0	86,6	90,3	93,9	97,7	99,4	101,1	103,0	83,6	85,5	87,5	89,0	91,1	93,2	95,3	97,6
Flux de Caixa Actualitzat	66,5	63,9	61,5	59,1	56,8	54,7	52,6	50,5	48,6	46,7	44,9	43,2	41,5	39,9	38,4	36,9	35,5	34,1	32,8	31,6
Flux de Caixa Actualitzat acumulat	-659,5	-595,6	-534,1	-475,0	-418,1	-363,5	-310,9	-260,4	-211,8	-165,1	-120,1	-77,0	-35,4	4,5	42,9	79,8	115,3	149,5	182,3	213,9
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Saldo a final d'any	5,6	9,0	12,4	15,9	19,5	23,1	26,7	30,4	34,1	37,7	41,3	44,9	48,5	52,1	55,7	59,3	62,9	66,5	70,1	73,7
VAN(20 anys) = 213.900 €																				
Període de retorn = 14 anys																				
TIR = 8 %																				
Ratio VAN/I = 0,29																				

SUPÒSIT 1 - ESCENARI PESSIMISTA																				
Flux de biomassa	220	kg/h	687,5	Tn/any	Inversió	726.000	€			Amortització	12	anys			Operació	0,0029	€/kWh			
PCI Biomassa	16.749	kJ/kg			Capital propi	217.800	€			Període del préstec	8	anys			Manteniment	0,0184	€/kWh			
Potència elèctrica	200	kW			Subvenció	0	€			Retorn principal	63.525	€			Assegurança	0,0015	€/kWh			
Producció elèctrica	607,3	MWh			Financiació externa	508.200	€			Inflació	3,5	%			Retalls fusta	30	€/m³			
Potència tèrmica	280	kW								Interés bancari	6	%			Escorça	20	€/tn			
Producció tèrmica	875,0	MWh													Gasoil	0,85	€/l			
	2010	2011	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ESCENARI ECONÒMIC DE PREUS																				
Variació preu venda electricitat (%)	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Preu de venda electricitat (€/kWh)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06
Preu dels retalls de fusta (€/m3)	30,00	31,05	32,14	33,26	34,43	35,63	36,88	38,17	39,50	40,89	42,32	43,80	45,33	46,92	48,56	50,26	52,02	53,84	55,72	57,68
Preu escorça (€/tn)	20,00	20,60	21,32	22,07	22,84	23,64	24,47	25,32	26,21	27,13	28,08	29,06	30,08	31,13	32,22	33,35	34,51	35,72	36,97	38,26
Preu gasoil (€/l)	0,85	0,88	0,91	0,94	0,98	1,01	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20	1,24	1,28	1,33	1,38	1,42	1,47	1,53	1,58	1,63
COMPTE DE PÈRDUES I GUANYS (milers €)																				
Ingressos	156,7	160,7	164,8	169,2	173,7	178,4	183,3	188,2	193,4	198,6	204,1	209,7	215,5	221,5	227,6	233,2	239,7	246,4	253,4	260,5
Venda d'electricitat	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Estalvi de gasoil	90,5	93,6	96,9	100,3	103,8	107,4	111,2	115,1	119,1	123,3	127,6	132,1	136,7	141,5	146,4	151,6	156,9	162,4	168,0	173,9
Despeses	57,5	59,5	61,5	63,7	65,9	68,2	70,6	73,1	75,7	78,3	81,0	83,9	86,8	89,9	93,0	96,3	99,6	103,1	106,7	110,5
Consums	33,1	34,2	35,4	36,6	37,9	39,3	40,6	42,1	43,5	45,0	46,6	48,3	49,9	51,7	53,5	55,4	57,3	59,3	61,4	63,5
Manteniment	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,7	3,8
Operació	12,4	12,9	13,3	13,8	14,3	14,8	15,3	15,8	16,4	16,9	17,5	18,1	18,8	19,4	20,1	20,8	21,5	22,3	23,1	23,9
Personal	9,0	9,3	9,6	10,0	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,6	14,1	14,6	15,1	15,6	16,2	16,7	17,3
Serveis externs	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9
Resultat d'exploració	99,2	101,2	103,2	105,5	107,8	110,2	112,6	115,1	117,7	120,3	123,0	125,8	128,7	131,6	134,6	136,9	140,1	143,3	146,7	150,1
Amortització	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5
Benefici abans despeses financeres	38,7	40,7	42,7	45,0	47,3	49,7	52,1	54,6	57,2	59,8	62,5	65,3	68,1	70,9	73,6	76,3	79,0	81,7	84,4	87,1
Despeses financeres	30,5	26,7	22,9	19,1	15,2	11,4	7,6	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Benefici abans d'impostos	8,2	14,0	19,9	25,9	32,1	38,3	44,5	50,8	57,2	59,8	62,5	65,3	68,1	70,9	73,6	76,3	79,0	81,7	84,4	87,1
Impost de societats (35%)	2,9	4,9	7,0	9,1	11,2	13,4	15,6	17,8	20,0	20,9	21,9	22,9	23,9	24,9	25,9	26,9	27,9	28,9	29,9	30,9
Benefici després d'impostos (BdI)	5,4	9,1	12,9	16,9	20,8	24,9	28,9	33,0	37,2	38,9	40,6	42,5	44,4	46,3	48,2	50,1	52,0	53,9	55,8	57,7
FINANÇAMENT DEL PROJECTE (milers €)																				
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Préstec viu	508,2	444,7	381,2	317,6	254,1	190,6	127,1	63,5												
Despeses financeres	30,5	26,7	22,9	19,1	15,2	11,4	7,6	3,8												
TRESORERIA (milers €)																				
Flux de Caixa net (BdI+Amortitzacions)	65,9	69,6	73,4	77,4	81,3	85,4	89,4	93,5	97,7	99,4	101,1	103,0	83,6	85,5	87,5	89,0	91,1	93,2	95,3	97,6
Flux de Caixa Actualitzat	63,3	60,9	58,5	56,3	54,1	52,0	50,0	48,1	46,3	44,5	42,8	41,1	39,6	38,0	36,6	35,2	33,8	32,5	31,3	30,1
Flux de Caixa Actualitzat acumulat	-662,7	-601,8	-543,2	-487,0	-432,8	-380,8	-330,7	-282,6	-236,4	-191,9	-149,1	-108,0	-68,4	-30,4	6,2	41,3	75,2	107,7	138,9	169,0
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Saldo a final d'any	2,3	6,1	9,9	13,8	17,8	21,8	25,9	30,0	97,7	99,4	101,1	103,0	83,6	85,5	87,5	89,0	91,1	93,2	95,3	97,6
VAN(20 anys) = 169.000 €																				
Període de retorn = 15 anys																				
TiR = 4,30 %																				
Ratio VAN/I = 0,23																				



SUPÒSIT 2 - ESCENARI OPTIMISTA																				
Flux de biomassa	220	kg/h	687,5	Tn/any	Inversió	726.000	€			Amortització	12	anys			Operació	0,0029	€/kWh			
PCI Biomassa	16.749	kJ/kg			Capital propi	217.800	€			Període del préstec	8	anys			Manteniment	0,0184	€/kWh			
Potència elèctrica	200	kW			Subvenció	0	€			Retorn principal	63.525	€			Assegurança	0,0015	€/kWh			
Producció elèctrica	607,3	MWh			Financiació externa	508.200	€			Inflació	3	%			Retalls fusta	30	€/m <sup>3</sup>			
Potència tèrmica	280	kW								Interés bancari	4	%			Escorça	20	€/tn			
Producció tèrmica	875,0	MWh													Gasoil	0,85	€/l			
	2010	2011	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ESCENARI ECONÒMIC DE PREUS																				
Variació preu venda electricitat (%)	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Preu de venda electricitat (€/kWh)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06
Preu dels retalls de fusta (€/m3)	30,00	30,90	31,83	32,78	33,77	34,78	35,82	36,90	38,00	39,14	40,32	41,53	42,77	44,06	45,38	46,74	48,14	49,59	51,07	52,61
Preu escorça (€/tn)	20,00	20,60	21,22	21,85	22,51	23,19	23,88	24,60	25,34	26,10	26,88	27,68	28,52	29,37	30,25	31,16	32,09	33,06	34,05	35,07
Preu gasoil (€/l)	0,85	0,88	0,90	0,93	0,96	0,99	1,01	1,05	1,08	1,11	1,14	1,18	1,21	1,25	1,29	1,32	1,36	1,40	1,45	1,49
COMPTE DE PÈRDUES I GUANYS (milers €)																				
Ingressos	122,7	125,2	127,8	130,6	133,5	136,4	139,4	142,5	145,7	149,0	152,3	155,7	159,3	162,8	166,5	169,5	173,4	177,4	181,4	185,6
Venda d'electricitat	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Estalvi de gasoil	56,4	58,1	59,9	61,7	63,5	65,4	67,4	69,4	71,5	73,6	75,9	78,1	80,5	82,9	85,4	87,9	90,6	93,3	96,1	99,0
Despeses	57,5	59,2	61,0	62,8	64,7	66,6	68,6	70,7	72,8	75,0	77,2	79,5	81,9	84,4	86,9	89,5	92,2	95,0	97,8	100,8
Consums	33,1	34,0	35,1	36,1	37,2	38,3	39,5	40,7	41,9	43,1	44,4	45,8	47,1	48,5	50,0	51,5	53,0	54,6	56,3	58,0
Manteniment	2,0	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Operació	12,4	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,8	15,3	15,7	16,2	16,7	17,2	17,7	18,2	18,8	19,3	19,9	20,5	21,1	21,8
Personal	9,0	9,3	9,5	9,8	10,1	10,4	10,7	11,1	11,4	11,7	12,1	12,5	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,9	15,3	15,8
Serveis externs	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8
Marge d'exploració	65,2	66,0	66,8	67,8	68,8	69,8	70,8	71,9	72,9	74,0	75,1	76,2	77,3	78,5	79,6	80,0	81,2	82,4	83,6	84,8
Amortització	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5								
Benefici abans despeses financeres	4,7	5,5	6,3	7,3	8,3	9,3	10,3	11,4	12,4	13,5	14,6	15,7	77,3	78,5	79,6	80,0	81,2	82,4	83,6	84,8
Despeses financers	20,3	17,8	15,2	12,7	10,2	7,6	5,1	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Benefici abans d'impostos	-15,6	-12,3	-8,9	-5,4	-1,9	1,7	5,3	8,8	12,4	13,5	14,6	15,7	77,3	78,5	79,6	80,0	81,2	82,4	83,6	84,8
Impost de societats (35%)	-5,5	-4,3	-3,1	-1,9	-0,7	0,6	1,8	3,1	4,4	4,7	5,1	5,5	27,1	27,5	27,9	28,0	28,4	28,8	29,3	29,7
Benefici després d'impostos (BdI)	-10,2	-8,0	-5,8	-3,5	-1,2	1,1	3,4	5,7	8,1	8,8	9,5	10,2	50,3	51,0	51,8	52,0	52,8	53,6	54,3	55,1
FINANÇAMENT DEL PROJECTE (milers €)																				
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Préstec viu	508,2	444,7	381,2	317,6	254,1	190,6	127,1	63,5												
Despeses financeres	20,3	17,8	15,2	12,7	10,2	7,6	5,1	2,5												
TRESORERIA (milers €)																				
Flux de Caixa net (BdI+Amortitzacions)	50,3	52,5	54,7	57,0	59,3	61,6	63,9	66,2	68,6	69,3	70,0	70,7	50,3	51,0	51,8	52,0	52,8	53,6	54,3	55,1
Flux de Caixa Actualitzat	48,4	46,5	44,8	43,0	41,4	39,8	38,3	36,8	35,4	34,0	32,7	31,4	30,2	29,1	28,0	26,9	25,8	24,9	23,9	23,0
Flux de Caixa Actualitzat acumulat	-677,6	-631,0	-586,3	-543,3	-501,9	-462,1	-423,8	-387,1	-351,7	-317,7	-285,0	-253,5	-223,3	-194,2	-166,3	-139,4	-113,5	-88,7	-64,8	-41,8
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Saldo a final d'any	-13,2	-11,0	-8,8	-6,5	-4,2	-1,9	0,4	2,7	68,6	69,3	70,0	70,7	50,3	51,0	51,8	52,0	52,8	53,6	54,3	55,1
VAN(20 anys) = -41.800 €																				
Període de retorn = No s'assoleix																				
TiR = < 0																				
Ratio VAN/I = < 0																				

SUPÒSIT 2 - ESCENARI NORMAL																				
Flux de biomassa	220	kg/h	687,5	Tn/any	Inversió	726.000	€			Amortització	12	anys			Operació	0,0029	€/kWh			
PCI Biomassa	16.749	kJ/kg			Capital propi	217.800	€			Període del préstec	8	anys			Manteniment	0,0184	€/kWh			
Potència elèctrica	200	kW			Subvenció	0	€			Retorn principal	63.525	€			Assegurança	0,0015	€/kWh			
Producció elèctrica	607,3	MWh			Financiació externa	508.200	€			Inflació	3,5	%			Retalls fusta	30	€/m³			
Potència tèrmica	280	kW								Interés bancari	5	%			Escorça	20	€/tn			
Producció tèrmica	875,0	MWh													Gasoil	0,85	€/l			
	2010	2011	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ESCENARI ECONÒMIC DE PREUS																				
Variació preu venda electricitat (%)	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Preu de venda electricitat (€/kWh)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06
Preu dels retalls de fusta (€/m3)	30,00	31,05	32,14	33,26	34,43	35,63	36,88	38,17	39,50	40,89	42,32	43,80	45,33	46,92	48,56	50,26	52,02	53,84	55,72	57,68
Preu escorça (€/tn)	20,00	20,70	21,42	22,17	22,95	23,75	24,59	25,45	26,34	27,26	28,21	29,20	30,22	31,28	32,37	33,51	34,68	35,89	37,15	38,45
Preu gasoil (€/l)	0,85	0,88	0,91	0,94	0,98	1,01	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20	1,24	1,28	1,33	1,38	1,42	1,47	1,53	1,58	1,63
COMPTE DE PÈRDUES I GUANYS (milers €)																				
Ingressos	122,7	125,5	128,3	131,5	134,7	138,0	141,4	144,9	148,5	152,3	156,1	160,0	164,1	168,2	172,5	176,2	180,7	185,4	190,2	195,1
Venda d'electricitat	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Estalvi de gasoil	56,4	58,4	60,5	62,6	64,8	67,0	69,4	71,8	74,3	76,9	79,6	82,4	85,3	88,3	91,4	94,6	97,9	101,3	104,8	108,5
Despeses	57,5	59,5	61,5	63,7	65,9	68,2	70,6	73,1	75,7	78,3	81,0	83,9	86,8	89,9	93,0	96,3	99,6	103,1	106,7	110,5
Consums	33,1	34,2	35,4	36,6	37,9	39,3	40,6	42,1	43,5	45,0	46,6	48,3	49,9	51,7	53,5	55,4	57,3	59,3	61,4	63,5
Manteniment	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,7	3,8
Operació	12,4	12,9	13,3	13,8	14,3	14,8	15,3	15,8	16,4	16,9	17,5	18,1	18,8	19,4	20,1	20,8	21,5	22,3	23,1	23,9
Personal	9,0	9,3	9,6	10,0	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,6	14,1	14,6	15,1	15,6	16,2	16,7	17,3
Serveis externs	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9
Resultat d'explotació	65,2	66,0	66,8	67,8	68,8	69,8	70,8	71,8	72,9	74,0	75,0	76,1	77,2	78,4	79,5	79,9	81,1	82,3	83,5	84,7
Amortització	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5								
Benefici abans despeses financeres	4,7	5,5	6,3	7,3	8,3	9,3	10,3	11,3	12,4	13,5	14,5	15,6	77,2	78,4	79,5	79,9	81,1	82,3	83,5	84,7
Despeses financeres	25,4	22,2	19,1	15,9	12,7	9,5	6,4	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Benefici abans d'impostos	-20,7	-16,7	-12,8	-8,6	-4,4	-0,3	3,9	8,2	12,4	13,5	14,5	15,6	77,2	78,4	79,5	79,9	81,1	82,3	83,5	84,7
Impost de societats (35%)	-7,2	-5,9	-4,5	-3,0	-1,6	-0,1	1,4	2,9	4,3	4,7	5,1	5,5	27,0	27,4	27,8	28,0	28,4	28,8	29,2	29,6
Benefici després d'impostos (BdI)	-13,5	-10,9	-8,3	-5,6	-2,9	-0,2	2,6	5,3	8,1	8,7	9,4	10,2	50,2	50,9	51,7	51,9	52,7	53,5	54,2	55,0
FINANÇAMENT DEL PROJECTE (milers €)																				
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Préstec viu	508,2	444,7	381,2	317,6	254,1	190,6	127,1	63,5												
Despeses financeres	25,4	22,2	19,1	15,9	12,7	9,5	6,4	3,2												
TRESORERIA (milers €)																				
Flux de Caixa net (BdI+Amortitzacions)	47,0	49,6	52,2	54,9	57,6	60,3	63,1	65,8	68,6	69,2	69,9	70,7	50,2	50,9	51,7	51,9	52,7	53,5	54,2	55,0
Flux de Caixa Actualitzat	45,2	43,5	41,8	40,2	38,7	37,2	35,7	34,4	33,0	31,8	30,6	29,4	28,3	27,2	26,1	25,1	24,1	23,2	22,3	21,5
Flux de Caixa Actualitzat acumulat	-680,8	-637,3	-595,5	-555,2	-516,6	-479,4	-443,7	-409,3	-376,2	-344,5	-313,9	-284,5	-256,3	-229,1	-203,0	-177,9	-153,7	-130,5	-108,2	-86,7
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Saldo a final d'any	-16,5	-13,9	-11,3	-8,6	-5,9	-3,2	-0,5	2,3	68,6	69,2	69,9	70,7	50,2	50,9	51,7	51,9	52,7	53,5	54,2	55,0
VAN(20 anys) = -86.700 €																				
Període de retorn = No s'assoleix																				
TiR = < 0																				
Ratio VAN/I = < 0																				

SUPÒSIT 2 - ESCENARI PESSIMISTA																				
Flux de biomassa	220	kg/h	687,5	Tn/any	Inversió	726.000	€			Amortització	12	anys			Operació	0,0029	€/kWh			
PCI Biomassa	16.749	kJ/kg			Capital propi	217.800	€			Període del préstec	8	anys			Manteniment	0,0184	€/kWh			
Potència elèctrica	200	kW			Subvenció	0	€			Retorn principal	63.525	€			Assegurança	0,0015	€/kWh			
Producció elèctrica	607,3	MWh			Financiació externa	508.200	€			Inflació	3,5	%			Retalls fusta	30	€/m³			
Potència tèrmica	280	kW								Interés bancari	6	%			Escorça	20	€/tn			
Producció tèrmica	875,0	MWh													Gasoil	0,85	€/l			
	2010	2011	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ESCENARI ECONÒMIC DE PREUS																				
Variació preu venda electricitat (%)	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Preu de venda electricitat (€/kWh)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06
Preu dels retalls de fusta (€/m3)	30,00	31,05	32,14	33,26	34,43	35,63	36,88	38,17	39,50	40,89	42,32	43,80	45,33	46,92	48,56	50,26	52,02	53,84	55,72	57,68
Preu escorça (€/tn)	20,00	20,60	21,32	22,07	22,84	23,64	24,47	25,32	26,21	27,13	28,08	29,06	30,08	31,13	32,22	33,35	34,51	35,72	36,97	38,26
Preu gasoil (€/l)	0,85	0,88	0,91	0,94	0,98	1,01	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20	1,24	1,28	1,33	1,38	1,42	1,47	1,53	1,58	1,63
COMPTE DE PÈRDUES I GUANYS (milers €)																				
Ingressos	122,7	160,7	164,8	169,2	173,7	178,4	183,3	188,2	193,4	198,6	204,1	209,7	215,5	221,5	227,6	233,2	239,7	246,4	253,4	260,5
Venda d'electricitat	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Estalvi de gasoil	56,4	93,6	96,9	100,3	103,8	107,4	111,2	115,1	119,1	123,3	127,6	132,1	136,7	141,5	146,4	151,6	156,9	162,4	168,0	173,9
Despeses	57,5	59,5	61,5	63,7	65,9	68,2	70,6	73,1	75,7	78,3	81,0	83,9	86,8	89,9	93,0	96,3	99,6	103,1	106,7	110,5
Consums	33,1	34,2	35,4	36,6	37,9	39,3	40,6	42,1	43,5	45,0	46,6	48,3	49,9	51,7	53,5	55,4	57,3	59,3	61,4	63,5
Manteniment	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,7	3,8
Operació	12,4	12,9	13,3	13,8	14,3	14,8	15,3	15,8	16,4	16,9	17,5	18,1	18,8	19,4	20,1	20,8	21,5	22,3	23,1	23,9
Personal	9,0	9,3	9,6	10,0	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,6	14,1	14,6	15,1	15,6	16,2	16,7	17,3
Serveis externs	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9
Resultat d'exploració	65,2	101,2	103,2	105,5	107,8	110,2	112,6	115,1	117,7	120,3	123,0	125,8	128,7	131,6	134,6	136,9	140,1	143,3	146,7	150,1
Amortització	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5
Benefici abans despeses financeres	4,7	40,7	42,7	45,0	47,3	49,7	52,1	54,6	57,2	59,8	62,5	65,3	128,7	131,6	134,6	136,9	140,1	143,3	146,7	150,1
Despeses financeres	30,5	26,7	22,9	19,1	15,2	11,4	7,6	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Benefici abans d'impostos	-25,8	14,0	19,9	25,9	32,1	38,3	44,5	50,8	57,2	59,8	62,5	65,3	128,7	131,6	134,6	136,9	140,1	143,3	146,7	150,1
Impost de societats (35%)	-9,0	4,9	7,0	9,1	11,2	13,4	15,6	17,8	20,0	20,9	21,9	22,9	45,0	46,1	47,1	47,9	49,0	50,2	51,3	52,5
Benefici després d'impostos (BdI)	-16,8	9,1	12,9	16,9	20,8	24,9	28,9	33,0	37,2	38,9	40,6	42,5	83,6	85,5	87,5	89,0	91,1	93,2	95,3	97,6
FINANÇAMENT DEL PROJECTE (milers €)																				
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Préstec viu	508,2	444,7	381,2	317,6	254,1	190,6	127,1	63,5												
Despeses financeres	30,5	26,7	22,9	19,1	15,2	11,4	7,6	3,8												
TRESORERIA (milers €)																				
Flux de Caixa net (BdI+Amortitzacions)	43,7	69,6	73,4	77,4	81,3	85,4	89,4	93,5	97,7	99,4	101,1	103,0	83,6	85,5	87,5	89,0	91,1	93,2	95,3	97,6
Flux de Caixa Actualitzat	42,1	40,4	38,9	37,4	35,9	34,6	33,2	32,0	30,7	29,5	28,4	27,3	26,3	25,3	24,3	23,4	22,5	21,6	20,8	20,0
Flux de Caixa Actualitzat acumulat	-683,9	-643,5	-604,6	-567,2	-531,3	-496,7	-463,5	-431,5	-400,8	-371,3	-342,8	-315,5	-289,3	-264,0	-239,7	-216,4	-193,9	-172,3	-151,6	-131,6
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Saldo a final d'any	-19,8	6,1	9,9	13,8	17,8	21,8	25,9	30,0	97,7	99,4	101,1	103,0	83,6	85,5	87,5	89,0	91,1	93,2	95,3	97,6
VAN(20 anys) = - 131.600 €																				
Període de retorn = No s'assoleix																				
TiR = < 0																				
Ratio VAN/I = < 0																				

SUPÒSIT 3 - ESCENARI OPTIMISTA																				
Flux de biomassa	220	kg/h	687,5	Tn/any	Inversió	726.000	€			Amortització	12	anys			Operació	0,0029	€/kWh			
PCI Biomassa	16.749	kJ/kg			Capital propi	217.800	€			Període del préstec	8	anys			Manteniment	0,0184	€/kWh			
Potència elèctrica	200	kW			Subvenció	0	€			Retorn principal	63.525	€			Assegurança	0,0015	€/kWh			
Producció elèctrica	607,3	MWh			Financiació externa	508.200	€			Inflació	3	%			Retalls fusta	30	€/m <sup>3</sup>			
Potència tèrmica	280	kW								Interés bancari	4	%			Escorça	20	€/tn			
Producció tèrmica	875,0	MWh																		
	2010	2011	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ESCENARI ECONÒMIC DE PREUS																				
Variació preu venda electricitat (%)	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Preu de venda electricitat (€/kWh)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06
Preu dels retalls de fusta (€/m3)	30,00	30,90	31,83	32,78	33,77	34,78	35,82	36,90	38,00	39,14	40,32	41,53	42,77	44,06	45,38	46,74	48,14	49,59	51,07	52,61
Preu escorça (€/tn)	20,00	20,60	21,22	21,85	22,51	23,19	23,88	24,60	25,34	26,10	26,88	27,68	28,52	29,37	30,25	31,16	32,09	33,06	34,05	35,07
Preu gasoil (€/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
COMPTE DE PÈRDUES I GUANYS (milers €)																				
Ingressos	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Venda d'electricitat	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Estalvi de gasoil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Despeses	57,5	59,2	61,0	62,8	64,7	66,6	68,6	70,7	72,8	75,0	77,2	79,5	81,9	84,4	86,9	89,5	92,2	95,0	97,8	100,8
Consums	33,1	34,0	35,1	36,1	37,2	38,3	39,5	40,7	41,9	43,1	44,4	45,8	47,1	48,5	50,0	51,5	53,0	54,6	56,3	58,0
Manteniment	2,0	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Operació	12,4	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,8	15,3	15,7	16,2	16,7	17,2	17,7	18,2	18,8	19,3	19,9	20,5	21,1	21,8
Personal	9,0	9,3	9,5	9,8	10,1	10,4	10,7	11,1	11,4	11,7	12,1	12,5	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,9	15,3	15,8
Serveis externs	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8
Resultat d'explotació	8,8	7,9	6,9	6,1	5,3	4,4	3,4	2,5	1,4	0,4	-0,7	-1,9	-3,1	-4,4	-5,7	-7,9	-9,4	-10,9	-12,5	-14,1
Amortització	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5								
Benefici abans despeses financeres	-51,7	-52,6	-53,6	-54,4	-55,2	-56,1	-57,1	-58,0	-59,1	-60,1	-61,2	-62,4	-3,1	-4,4	-5,7	-7,9	-9,4	-10,9	-12,5	-14,1
Despeses financeres	20,3	17,8	15,2	12,7	10,2	7,6	5,1	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Benefici abans d'impostos	-72,1	-70,4	-68,8	-67,1	-65,4	-63,7	-62,1	-60,6	-59,1	-60,1	-61,2	-62,4	-3,1	-4,4	-5,7	-7,9	-9,4	-10,9	-12,5	-14,1
Impost de societats (35%)	-25,2	-24,6	-24,1	-23,5	-22,9	-22,3	-21,7	-21,2	-20,7	-21,0	-21,4	-21,8	-1,1	-1,5	-2,0	-2,8	-3,3	-3,8	-4,4	-4,9
Benefici després d'impostos (BdI)	-46,8	-45,8	-44,7	-43,6	-42,5	-41,4	-40,4	-39,4	-38,4	-39,1	-39,8	-40,6	-2,0	-2,9	-3,7	-5,1	-6,1	-7,1	-8,1	-9,2
FINANÇAMENT DEL PROJECTE (milers €)																				
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Préstec viu	508,2	444,7	381,2	317,6	254,1	190,6	127,1	63,5												
Despeses financeres	20,3	17,8	15,2	12,7	10,2	7,6	5,1	2,5												
TRESORERIA (milers €)																				
Flux de Caixa net (BdI+Amortitzacions)	13,7	14,7	15,8	16,9	18,0	19,1	20,1	21,1	22,1	21,4	20,7	19,9	-2,0	-2,9	-3,7	-5,1	-6,1	-7,1	-8,1	-9,2
Flux de Caixa Actualitzat	13,1	12,6	12,1	11,7	11,2	10,8	10,4	10,0	9,6	9,2	8,9	8,5	8,2	7,9	7,6	7,3	7,0	6,7	6,5	6,2
Flux de Caixa Actualitzat acumulat	-712,9	-700,2	-688,1	-676,4	-665,2	-654,4	-644,0	-634,0	-624,5	-615,2	-606,4	-597,8	-589,6	-581,7	-574,2	-566,9	-559,8	-553,1	-546,6	-540,4
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Saldo a final d'any	-49,9	-48,8	-47,8	-46,6	-45,5	-44,5	-43,4	-42,4	22,1	21,4	20,7	19,9	-2,0	-2,9	-3,7	-5,1	-6,1	-7,1	-8,1	-9,2
VAN(20 anys) = - 540.400 €																				
Període de retorn = No s'assoleix																				
TiR = < 0																				
Ratio VAN/I = < 0																				

SUPÒSIT 3 - ESCENARI NORMAL																				
Flux de biomassa	220	kg/h	687,5	Tn/any	Inversió	726.000	€	Amortització	12	anys	Operació	0,0029	€/kWh							
PCI Biomassa	16.749	kJ/kg			Capital propi	217.800	€	Període del préstec	8	anys	Manteniment	0,0184	€/kWh							
Potència elèctrica	200	kW			Subvenció	0	€	Retorn principal	63.525	€	Assegurança	0,0015	€/kWh							
Producció elèctrica	607,3	MWh			Financiació externa	508.200	€	Inflació	3,5	%	Retalls fusta	30	€/m³							
Potència tèrmica	280	kW						Interés bancari	5	%	Escorça	20	€/tn							
Producció tèrmica	875,0	MWh																		
	2010	2011	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ESCENARI ECONÒMIC DE PREUS																				
Variació preu venda electricitat (%)	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Preu de venda electricitat (€/kWh)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06
Preu dels retalls de fusta (€/m3)	30,00	31,05	32,14	33,26	34,43	35,63	36,88	38,17	39,50	40,89	42,32	43,80	45,33	46,92	48,56	50,26	52,02	53,84	55,72	57,68
Preu escorça (€/tn)	20,00	20,70	21,42	22,17	22,95	23,75	24,59	25,45	26,34	27,26	28,21	29,20	30,22	31,28	32,37	33,51	34,68	35,89	37,15	38,45
Preu gasoil (€/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
COMPTE DE PÈRDUES I GUANYS (milers €)																				
Ingressos	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Venda d'electricitat	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Estalvi de gasoil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Despeses	57,5	59,5	61,5	63,7	65,9	68,2	70,6	73,1	75,7	78,3	81,0	83,9	86,8	89,9	93,0	96,3	99,6	103,1	106,7	110,5
Consums	33,1	34,2	35,4	36,6	37,9	39,3	40,6	42,1	43,5	45,0	46,6	48,3	49,9	51,7	53,5	55,4	57,3	59,3	61,4	63,5
Manteniment	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,7	3,8
Operació	12,4	12,9	13,3	13,8	14,3	14,8	15,3	15,8	16,4	16,9	17,5	18,1	18,8	19,4	20,1	20,8	21,5	22,3	23,1	23,9
Personal	9,0	9,3	9,6	10,0	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,6	14,1	14,6	15,1	15,6	16,2	16,7	17,3
Serveis externs	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9
Resultat d'explotació	8,8	7,6	6,3	5,2	4,0	2,7	1,4	0,0	-1,4	-3,0	-4,6	-6,3	-8,0	-9,9	-11,8	-14,6	-16,8	-19,0	-21,4	-23,8
Amortització	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5								
Benefici abans despeses financeres	-51,7	-52,9	-54,2	-55,3	-56,5	-57,8	-59,1	-60,5	-61,9	-63,5	-65,1	-66,8	-8,0	-9,9	-11,8	-14,6	-16,8	-19,0	-21,4	-23,8
Despeses financeres	25,4	22,2	19,1	15,9	12,7	9,5	6,4	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Benefici abans d'impostos	-77,1	-75,2	-73,2	-71,2	-69,2	-67,3	-65,4	-63,6	-61,9	-63,5	-65,1	-66,8	-8,0	-9,9	-11,8	-14,6	-16,8	-19,0	-21,4	-23,8
Impost de societats (35%)	-27,0	-26,3	-25,6	-24,9	-24,2	-23,5	-22,9	-22,3	-21,7	-22,2	-22,8	-23,4	-2,8	-3,5	-4,1	-5,1	-5,9	-6,7	-7,5	-8,3
Benefici després d'impostos (BdI)	-50,1	-48,9	-47,6	-46,3	-45,0	-43,7	-42,5	-41,4	-40,3	-41,3	-42,3	-43,4	-5,2	-6,4	-7,7	-9,5	-10,9	-12,4	-13,9	-15,5
FINANÇAMENT DEL PROJECTE (milers €)																				
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Préstec viu	508,2	444,7	381,2	317,6	254,1	190,6	127,1	63,5												
Despeses financeres	25,4	22,2	19,1	15,9	12,7	9,5	6,4	3,2												
TRESORERIA (milers €)																				
Flux de Caixa net (BdI+Amortitzacions)	10,4	11,6	12,9	14,2	15,5	16,8	18,0	19,1	20,2	19,2	18,2	17,1	-5,2	-6,4	-7,7	-9,5	-10,9	-12,4	-13,9	-15,5
Flux de Caixa Actualitzat	10,0	9,6	9,2	8,9	8,5	8,2	7,9	7,6	7,3	7,0	6,7	6,5	6,2	6,0	5,7	5,5	5,3	5,1	4,9	4,7
Flux de Caixa Actualitzat acumulat	-716,0	-706,5	-697,3	-688,4	-679,9	-671,7	-663,9	-656,3	-649,0	-642,0	-635,3	-628,8	-622,6	-616,6	-610,9	-605,4	-600,0	-594,9	-590,0	-585,3
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Saldo a final d'any	-53,2	-51,9	-50,6	-49,3	-48,0	-46,8	-45,6	-44,4	20,2	19,2	18,2	17,1	-5,2	-6,4	-7,7	-9,5	-10,9	-12,4	-13,9	-15,5
VAN(20 anys) = - 585.300 €																				
Període de retorn = No s'assoleix																				
TiR = < 0																				
Ratio VAN/I = < 0																				

SUPÒSIT 3 - ESCENARI PESSIMISTA																				
Flux de biomassa	220	kg/h	687,5	Tn/any	Inversió	726.000	€	Amortització	12	anys	Operació	0,0029	€/kWh							
PCI Biomassa	16.749	kJ/kg			Capital propi	217.800	€	Període del préstec	8	anys	Manteniment	0,0184	€/kWh							
Potència elèctrica	200	kW			Subvenció	0	€	Retorn principal	63.525	€	Assegurança	0,0015	€/kWh							
Producció elèctrica	607,3	MWh			Financiació externa	508.200	€	Inflació	3,5	%	Retalls fusta	30	€/m³							
Potència tèrmica	280	kW						Interés bancari	6	%	Escorça	20	€/tn							
Producció tèrmica	875,0	MWh																		
	2010	2011	2012	2013	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ESCENARI ECONÒMIC DE PREUS																				
Variació preu venda electricitat (%)	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Preu de venda electricitat (€/kWh)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06
Preu dels retalls de fusta (€/m3)	30,00	30,90	31,83	32,78	33,77	34,78	35,82	36,90	38,00	39,14	40,32	41,53	42,77	44,06	45,38	46,74	48,14	49,59	51,07	52,61
Preu escorça (€/tn)	20,00	20,60	21,22	21,85	22,51	23,19	23,88	24,60	25,34	26,10	26,88	27,68	28,52	29,37	30,25	31,16	32,09	33,06	34,05	35,07
Preu gasoil (€/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
COMPTE DE PÈRDUES I GUANYS (milers €)																				
Ingressos	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Venda d'electricitat	66,2	67,0	67,9	68,9	69,9	71,0	72,1	73,1	74,2	75,3	76,5	77,6	78,8	80,0	81,2	81,6	82,8	84,1	85,3	86,6
Estalvi de gasoil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Despeses	57,5	59,5	61,5	63,7	65,9	68,2	70,6	73,1	75,7	78,3	81,0	83,9	86,8	89,9	93,0	96,3	99,6	103,1	106,7	110,5
Consums	33,1	34,2	35,4	36,6	37,9	39,3	40,6	42,1	43,5	45,0	46,6	48,3	49,9	51,7	53,5	55,4	57,3	59,3	61,4	63,5
Manteniment	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,7	3,8
Operació	12,4	12,9	13,3	13,8	14,3	14,8	15,3	15,8	16,4	16,9	17,5	18,1	18,8	19,4	20,1	20,8	21,5	22,3	23,1	23,9
Personal	9,0	9,3	9,6	10,0	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,6	14,1	14,6	15,1	15,6	16,2	16,7	17,3
Serveis externs	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9
Resultat d'explotació	8,8	7,6	6,3	5,2	4,0	2,7	1,4	0,0	-1,4	-3,0	-4,6	-6,3	-8,0	-9,9	-11,8	-14,6	-16,8	-19,0	-21,4	-23,8
Amortització	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5								
Benefici abans despeses financeres	-51,7	-52,9	-54,2	-55,3	-56,5	-57,8	-59,1	-60,5	-61,9	-63,5	-65,1	-66,8	-8,0	-9,9	-11,8	-14,6	-16,8	-19,0	-21,4	-23,8
Despeses financeres	30,5	26,7	22,9	19,1	15,2	11,4	7,6	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Benefici abans d'impostos	-82,2	-79,6	-77,0	-74,4	-71,7	-69,2	-66,7	-64,3	-61,9	-63,5	-65,1	-66,8	-8,0	-9,9	-11,8	-14,6	-16,8	-19,0	-21,4	-23,8
Impost de societats (35%)	-28,8	-27,9	-27,0	-26,0	-25,1	-24,2	-23,3	-22,5	-21,7	-22,2	-22,8	-23,4	-2,8	-3,5	-4,1	-5,1	-5,9	-6,7	-7,5	-8,3
Benefici després d'impostos (BdI)	-53,4	-51,7	-50,1	-48,3	-46,6	-45,0	-43,4	-41,8	-40,3	-41,3	-42,3	-43,4	-5,2	-6,4	-7,7	-9,5	-10,9	-12,4	-13,9	-15,5
FINANÇAMENT DEL PROJECTE (milers €)																				
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Préstec viu	508,2	444,7	381,2	317,6	254,1	190,6	127,1	63,5												
Despeses financeres	30,5	26,7	22,9	19,1	15,2	11,4	7,6	3,8												
TRESORERIA (milers €)																				
Flux de Caixa net (BdI+Amortitzacions)	7,1	8,8	10,4	12,2	13,9	15,5	17,1	18,7	20,2	19,2	18,2	17,1	-5,2	-6,4	-7,7	-9,5	-10,9	-12,4	-13,9	-15,5
Flux de Caixa Actualitzat	6,8	6,5	6,3	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2	5,0	4,8	4,6	4,4	4,2	4,1	3,9	3,8	3,6	3,5	3,3	3,2
Flux de Caixa Actualitzat acumulat	-719,2	-712,7	-706,4	-700,4	-694,6	-689,0	-683,7	-678,5	-673,6	-668,8	-664,2	-659,8	-655,6	-651,5	-647,6	-643,8	-640,2	-636,7	-633,4	-630,2
Retorn principal	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5	63,5												
Saldo a final d'any	-56,5	-54,8	-53,1	-51,4	-49,7	-48,0	-46,4	-44,8	20,2	19,2	18,2	17,1	-5,2	-6,4	-7,7	-9,5	-10,9	-12,4	-13,9	-15,5
VAN(20 anys) = - 630.200 €																				
Període de retorn = No s'assoleix																				
TiR = < 0																				
Ratio VAN/I = < 0																				

### 3 Resultats

Es defineix una serraria tipus amb capacitat de processar 2.800 m<sup>3</sup> anuals de fusta en rol. Com a resultat del procés productiu es produeixen 1.540 m<sup>3</sup> de producte acabat, 539,0 tn de residus de fusta i 120,0 tn d'escorça i es consumeix 115,5 MWh<sub>e</sub> d'energia elèctrica i  $2,31 \cdot 10^9$  kJ d'energia tèrmica, aquesta última s'inverteix totalment en l'assecat de la fusta.

La gasificació del conjunt de residus en un gasificador a corrents paral·leles produeix un flux de gas de síntesi de 551,27 Nm<sup>3</sup>/h, un cop netejat i refredat té 709,75 kW de potència.

La combustió del gas de síntesi en un motor de combustió interna acoblat a un alternador genera 194,34 kW<sub>e</sub> de potència elèctrica i 280 kW<sub>t</sub> d'energia tèrmica. La eficiència elèctrica del grup motor-generador és del 27,37% i la eficiència tèrmica és de 39,43%, inferiors a les previstes pel fabricant.

El funcionament de la planta de gasificació durant 3.125 h. a l'any genera 607,31 MWh<sub>e</sub> d'energia elèctrica i 875,00 MWh<sub>t</sub> o  $3,15 \cdot 10^6$  kJ d'energia tèrmica.

En l'estudi de viabilitat econòmica es preveuen tres supòsits o casos sobre els que es realitza un anàlisi de sensibilitat de la inflació i el tipus d'interès bancari. En el primer supòsit es té en compte la venda d'energia elèctrica, l'estalvi de combustible per l'aprofitament tèrmic i la venda d'excedent tèrmic. En el segon, es preveu la venda d'electricitat i l'aprofitament de l'energia tèrmica generada en processos amb demanda tèrmica de la serraria, però no la venda d'excedent tèrmic. En el tercer només es té en compte la venda d'electricitat. Es té en compte el valor comercial dels residus fustaners com un cost d'oportunitat associat al Projecte.

Els resultats de l'estudi de viabilitat manifesten que la gasificació de residus és un procés rendible econòmicament pel primer supòsit en que es té en compte la venda d'energia elèctrica, l'estalvi de combustible alternatiu i la venda d'excedent tèrmic,

s'obté uns fluxos de caixa acumulats de 213.900 €. En el segon i tercer supòsit la gasificació de biomassa no resulta viable econòmicament i s'incurreixen pèrdues.



## 4 Conclusions

Els residus de serraria es destinen a l'actualitat a la venda a fabricants de taulells de partícules i fibres de fusta obtenint-se a canvi unes rendes pecuniàries a tenir en compte en el balanç empresarial.

La gasificació es mostra com una via de revalorització energètica flexible en quant a les seves exigències de qualitat i volum de la biomassa. El combustible és generat al mateix lloc on es consumeix, la disponibilitat és immediata i el seu subministre està garantit.

Existeixen gasificadors de mida ben petita (capacitat inferior als 100 kilograms per hora) i fins a mides ben grans (diverses tones per hora).

Es discuteix els diferents sistemes de recuperació energètica del gas pobre i es conclou que per a equips de potència inferior a 5 MWe la cogeneració amb motor de combustió interna esdevé la opció més eficient.

La viabilitat tècnica queda verificada per la operativitat del gasificador, del sistema de tractament del gas i de l'equip de recuperació energètica. Des del punt de vista econòmic la gasificació dels residus de serraria només resulta viable tècnica i econòmicament en certes condicions.

Considerar l'aprofitament exclusiu de calor o electricitat no resulta viable econòmicament, tampoc ho resulta considerar la venda d'energia elèctrica i el gasoil estalviat en la serraria. Per a que sigui rentable convé vendre l'excedent d'energia tèrmica a indústries properes.

La major partida de costos correspon al cost d'oportunitat de la biomassa i a les despeses de manteniment. El major aport econòmic a la inversió és donat per l'estalvi de combustibles alternatius degut a l'aprofitament de l'energia tèrmica.. La venda d'electricitat per sí sola no suposa uns ingressos gaire alts i no justifiquen la inversió.

La gasificació només comporta beneficis econòmics mitjançant la cogeneració en aquelles empreses on l'energia tèrmica pugui ser absorbida per la demanda tèrmica d'altres processos o pugui ser venuda a indústries properes.

Hi ha un gran mercat potencial per a la gasificació de residus de serraria, poc a poc més indústries decideixen optar per aquesta via però en general l'empresariat desestima la gasificació de residus per qüestions com la falta de confiança en la tecnologia, la major complexitat de gestió, la gran inversió necessària i l'ús alternatiu dels residus.

El procés de gasificació genera una sèrie de residus de fàcil gestió, la combustió en motor alternatiu del gas de síntesi emet gasos contaminants a l'atmosfera que cal controlar, però ho fa en menor proporció que els combustibles fòssils.

La utilització de biomassa com a combustible suposa una sèrie de beneficis ambientals que s'han de tenir presents en les polítiques de les empreses. Aquest benefici pot ser considerat com una externalitat positiva per a l'empresa.

En definitiva, la gasificació de biomassa és una opció a considerar en les indústries forestals de primera transformació però no sempre és viable econòmicament sinó que cal analitzar cada cas en particular.

## 5 Bibliografia

### 5.1 Recursos bibliogràfics

- BASU, PRABIR (2006). Combustion and gasification in fluidized beds. 1st edition. Boca Raton, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 978-0-8493-3396-2.
- BRIDGEWATER, A.V. (2003). *Pyrolysis gasification of biomass and waste: proceedings of an expert meeting*. 1<sup>st</sup> edition. Newbury, UK: CPL Press. ISBN: 1-872691-77-3.
- ELÍAS CASTELLS, XAVIER (2005). *Tratamiento y revalorización de residuos energéticos*. 1<sup>a</sup> edición. Madrid: Editorial Díaz de Santos. ISBN: 978-84-7978-694-6.
- HERNÁNDEZ GONZÁLEZ, Cayetano [et al.] (1984). *Manual de Energía de la Biomasa*. Edición especial. Madrid: Editorial Cinco Días (Manual de Energías Renovables, Libro 3). ISBN 84-8036-414-9.
- SARLOS, GÉRARD; HALDI, PIERRE-ANDRÉ; [et al.] (2003). *Systèmes énergétiques: offre et demande d'énergie, méthodes d'analyse*. Lausanne, La Suisse: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (Traité de Génie Civil, Volume 21). ISBN: 2-88074-464-6.
- VAN LOO, SJAACK; KOPPEJAN, JAAP (2008). *The handbook of biomass combustion*. 1st edition. London, UK: Earthscan. ISBN 978-1-84407-249-1.

### 5.2 Referències

1. IDAE, INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (2004). *Plan de energías renovables en España 2005-2010*. Madrid.
2. VIGNOTE, SANTIAGO; MARTÍNEZ, ISAAC (2005). *Tecnología de la madera*. 3<sup>a</sup> edición. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
3. TOLOSANA, E. ET AL. *El aprovechamiento maderero*. 1<sup>a</sup> edición. Madrid: coeditada. Ediciones Mundi-Prensa, Fundación conde del valle de Salazar.
4. DEPARTAMENTO DE MONTES. FAO, ORGANIZACIÓN PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (1993). *Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales*. 1<sup>a</sup> edición. Roma: Editorial FAO. ISBN 92-5-302912-9.

5. PROYECTO ENERSILVA. (2005). *Biomasa forestal primaria* [En línia]: Generalidades. [Consultat: Juliol 2009]. Disponible a internet: <http://www.enersilva.org/biomasaenergetica.htm>
6. DEPARTAMENTO DE MONTES. FAO, ORGANIZACIÓN PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (1993). *El gas de madera como combustible para motores*. 1ª edición. Roma: Editorial FAO. ISBN 92-5-302436-4.
7. ELÍAS CASTELLS, XAVIER (2005). *Tratamiento y revalorización de residuos energéticos*. 1ª edición. Madrid: Editorial Díaz de Santos. ISBN: 978-84-7978-694-6.
8. BRIDGEWATER, A.V. (1995). *The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation*. 1<sup>st</sup> edition. Birmingham, UK: Aston University.
9. QUAACK, PETER; KNOEF, HARRIE; STASSEN, HUBERT (1999). *Energy from biomass: A review of combustion and gasification technologies*. 1st edition. Washington, USA: The World bank (Energy series). ISBN 0-8213-4335-1.
10. ECN, ENERGY RESEARCH CENTER OF THE NETHERLANDS (2009). *Phyllis, database for biomass and waste*. [En línia]. [Consultat: Maig, Juny 2009]. Disponible a internet: <http://www.ecn.nl/phyllis/>
11. UNIVERSITY OF TECHNOLOGY VIENNA. BioBIB [En línia]: *A database for biofuels*. [Consultat: Juliol 2009].  
Disponible a internet: <http://www.vt.tuwien.ac.at/biobib/>
12. GASBI, Gasificación de Biomasa S.L (2008). *Informe datos técnicos abril 2008*. 1ª edición. Biscaia: GASBI S.L.
13. GASBI, Gasificación de Biomasa S.L. (2007). *Informe preliminar: planta de cogeneración por gasificación de biomasa*. 1ª edición. Donostia: GASBI S.L.

## 6 Annexos

### 6.1 Unitats de Mesura

La norma UNE 157001:2002 estableix que en els documents d'un Projecte s'utilitzarà preferentment el Sistema Internacional d'unitats conforme la norma UNE 82100:1996, relativa a Magnituds i Unitats de Mesura del Sistema Internacional.

En el present Projecte s'ha emprat aquest Sistema d'Unitats a més a més d'un seguit d'unitats que tot i no pertànyer al Sistema Internacional són d'ús comú i que tenen la seva equivalència en unitats del Sistema Internacional.

#### 6.1.1 Magnituds fonamentals

- Corrent elèctric:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	ampere	A

- Longitud:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	metre	m

- Massa:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	kilogram	kg

- Quantitat de substància:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	mol	mol

- Temperatura:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	kelvin	K
Altres	grau Celsius	°C, °C = K-273,15

- Temps:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	segon	s

## Magnituds derivades:

- Calor específic màssic

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	$\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Cp

- Densitat:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	$\text{kg}/\text{m}^3$ , $\text{g}/\text{cm}^3$	$\rho$
Altres	$\text{kg}/\text{l}$ , $\text{g}/\text{ml}$	$\text{kg}/\text{l} = \text{g}/\text{ml} = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$

- Energia

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	joule	J
Altres	caloria	cal, 1 cal = 4,1855 J
	kiloWatt hora	kWh, 1 kWh = $3,6 \cdot 10^6$ J
	kilo tona equivalent de petroli	ktep, 1 ktep = $41868 \cdot 10^6$ J

- Força:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	newton	N
S.Tècnic	kilopondi	kp, 1 kp = 9,8 N

- Poder calorífic:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	joules per mol	J/mol
Altres	kilojoules per kilogram	$\text{kJ}/\text{kg}$ , 1 $\text{kJ}/\text{kg}$ =
	kilojoules per metre cúbic en condicions normals	$\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 1 $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ =

- Potència:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	Watt	W
S. Anglès	Cavall vapor	CV, 1 CV = 735,8 W

- Pressió:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	Pascal	Pa
S. Anglès	Pounds per square inch	PSI, 1 PSI = 6894,75 Pa
Altres	atmosfera	atm, 1 atm = 101325 Pa

- Superfície:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	metre quadrat	m <sup>2</sup>

- Volum:

Sistema d'Unitats	Unitat Bàsica	Símbol
S.I.	metre cúbic	m <sup>3</sup>
Altres	litre	l, 1 l = 10 <sup>-3</sup>

## **6.2 Normativa aplicable, marc legal i polítiques**

Aquest annex no pretén ser una relació exhaustiva de tota la legislació i polítiques que directa o indirectament afecta a les energies renovables, car això comportaria un llistat molt llarg amb legislació que pot anar des de la seguretat i salut laboral, passant per mesures fiscals fins a normatives ambientals.

Així, hi trobareu un recull de normativa que té una vinculació més directa amb l'objecte d'aquest Projecte amb la finalitat de poder ser consultada en cas de necessitar-ho.

### **6.2.1 Normativa aplicable i marc legal**

#### **A nivell nacional**

- RD 661/2007, de 25 de maig, pel que es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.
- RD 436/2004, de 12 de març, pel que s'estableix la metodologia per a l'actuació i sistematització del règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.
- Ley 54/1997, de 27 de novembre, del Sector Elèctric.

#### **A nivell europeu**

- DIRECTIVA 2001/77/CE DEL PARLAMENT EUROPEU I DEL CONSELL de 27 de setembre de 2001, relativa a la promoció de la electricitat generada a partir de fonts d'energies renovables al mercat intern de la electricitat.
- DIRECTIVA 2006/32/CE DEL PARLAMENT EUROPEU I DEL CONSELL de 5 d'Abril de 2006, sobre la eficiència de l'ús final de l'energia i els serveis energètics i pel que es deroga la Directiva 93/76/CEE del Consell.
- DIRECTIVA 2001/80/CE DEL PARLAMENT EUROPEU I DEL CONSELL de 23 d'octubre, sobre limitació d'emissions a l'atmosfera de determinants agents contaminants procedents de grans instal·lacions de combustió.



## **6.2.2 Polítiques**

### **A nivell nacional**

- PER 2005-2010 i PER 2011-2020, Plan de Energías Renovables.
- Planificación de los Sectores de Electricidad y Gas, revisión 2005-2011.
- Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España, 2004-2012.

### **A nivell europeu**

- Llibre Blanc per a les Energies Renovables pel que s'estableix una estratègia i un pla d'acció comunitaris pel sector.
- Pla d'acció per a la eficiència energètica 2007-2012 que preveu mesures destinades a millorar el rendiment energètic dels productes, edificis i els serveis i millorar la eficiència de la producció i distribució d'energia.

## **6.3 Caracterització energètica dels residus de serraria**

### **6.3.1 Potencial energètic i anàlisi dels residus**

La qualitat d'un combustible ve donada per la quantitat d'energia que conté i pot alliberar quan es sotmet a un procés de conversió energètica. Aquesta energia s'anomena poder calorífic i es mesura en unitats de calor per unitat de massa en els sòlids i en unitats de calor per unitat de volum en líquids i gasos.

Per a la revaloració energètica el primer factor que s'ha d'analitzar és el poder calorífic inferior (PCI) dels residus. Hi ha una infinitat d'expressions experimentals que determinen el PCI a partir de l'anàlisi elemental i l'anàlisi immediat del combustible, es basen en que el calor després en la combustió és igual a la suma dels calors generats pels elements que el componen.

L'anàlisi elemental determina el contingut en elements simples de un combustible, tot i que solament aquells que es gasificaran suposaran un aport calorífic en les reaccions de combustió posteriors.

L'anàlisi immediat determina paràmetres que afecten tant a la combustió com a la piròlisi, tals com la humitat, el contingut en volàtils, les cendres i el carboni fix. Les matèries volàtils estan constituïdes per combinacions de carboni, hidrogen i altres elements, no tots els volàtils aporten energia. La cendra està composta, essencialment per materials inorgànics inerts que conté el combustible. El carboni fix és la fracció residual de carboni pirolitzat, descomptades les cendres.

### **6.3.2 La fusta i derivats de *Pinus sylvestris***

Es pren com a referència fusta de pi roig descorçada i assecada al 15% d'humitat. Aquestes condicions són les més properes a les de la fusta i residus de fusta que disposarem en una serraria qualsevol.

**Taula 6.3.2a Anàlisi elemental i immediat de la fusta**

Anàlisi elemental		Anàlisi immediat	
Element	Massa (%)	Element	Massa (%)
<b>C</b>	49,7	Carboni fix <sup>1</sup>	15,2
<b>H</b>	6,2	Materials volàtils <sup>2</sup>	84,7
<b>O</b>	43,7	Humitat	0
<b>N</b>	0,1	Cendres <sup>3</sup>	0,1
<b>S</b>	0,02		
<b>Cl</b>	0,01		
<b>F</b>	0,001		
<b>Total</b>	100	<b>Total</b>	100

Font: Energy Research Centre of the Netherlands (10).

### 6.3.3 L'escorça de *Pinus sylvestris*

Les condicions d'humitat del residu d'escorça no són les mateixes que les del residu de fusta ja que tenen propietats higroscòpiques diferents. La separació de l'escorça de la fusta es realitza més fàcilment amb continguts d'humitat alts i es porta a terme a la fàbrica abans de l'assecat, en condicions d'humitat ambiental. La biomassa ha de tenir un contingut en humitat baix per a poder aconseguir un òptim aprofitament energètic, per tant es considera que l'escorça a aprofitar és assecada fins a una humitat del 15% en base seca.

**Taula 6.3.2b Anàlisi elemental i immediat de l'escorça**

Anàlisi elemental		Anàlisi immediat	
Element	Massa (%)	Element	Massa (%)
<b>C</b>	54,9	Carboni fix	20,0
<b>H</b>	5,8	Materials volàtils	79,2
<b>O</b>	39,0	Humitat	0
<b>N</b>	0,2	Cendres	2,1
<b>S</b>	0,1		
<b>Cl</b>	0,01		
<b>F</b>	-		
<b>Total</b>	100	<b>Total</b>	100

Font: Energy Research Centre of the Netherlands (10).

## 6.4 Catàleg tecnològic

**Taula 6.4a. Equip de gasificació GASBI**

<b>Fabricant</b>	<b>GASBI</b>
<b>Model</b>	<b>RG-100</b>
<b>Gasificador</b>	
Biomassa a utilitzar	<b>qualsevol</b>
Tipus de gasificador	<b>corrents paral·leles (downdraft)</b>
Tipus de llera	<b>mòbil</b>
Temperatura d'operació (°C)	1300
Cabal de gas pobre (Nm <sup>3</sup> /kg biomassa)	2,6
Agent gasificant	aire
Pressió	atmosfèrica
Max. hores anuals	8.000 h
Capacitat de biomassa <sup>1</sup> (kg/h)	117,5
<b>Motor-generador</b>	
Cicle termodinàmic	Diesel
Pot. elèctrica max. bruta (kW)	100
Pot. elèctrica max. neta (kW)	94
Rendiment elèctric (%)	34,30
Pot. tèrmica max. bruta (kW)	140
<b>Consum i personal</b>	
Dedicació de personal (operaris/torn)	1
Autoconsum elèctric (kW)	6
<b>Despeses</b>	
Operació (€/kWh)	0,0029
Manteniment (€/kWh)	0,0134
Rendiment tèrmic global (%)	50,55

Font: GASBI (Biscaia).

**Taula 6.4b. Equip de gasificació GUASCOR**

<b>Fabricant</b>	<b>GUASCOR</b>
<b>Model</b>	-
<b>Gasificador</b>	
Biomassa a utilitzar	<b>qualsevol</b>
Tipus de gasificador	<b>combinació (updraft-downdraft)</b>
Tipus de llera	<b>mòbil</b>
Temperatura d'operació (°C)	1300
Cabal de gas pobre (Nm <sup>3</sup> /kg biomassa)	-
Agent gasificant	aire+vapor d'aigua
Pressió	atmosfèrica
Max. hores anuals (h)	8.000
Capacitat de biomassa <sup>1</sup> (kg/h)	500
Granulometria biomassa (cm.)	<b>0,2 – 1,2</b>
<b>Motor-generador</b>	
Cicle termodinàmic	Diesel
Pot. elèctrica max. bruta (kW)	600
Pot. elèctrica max. neta (kW)	500
Rendiment elèctric (%)	27
Pot. tèrmica max. bruta (kW)	750
<b>Consum i personal</b>	
Dedicació de personal (operaris/torn)	1
Autoconsum elèctric (%)	12
<b>Despeses</b>	
Operació i manteniment	0,022
Rendiment tèrmic global (%)	44

Font: GUASCOR (Álava).

**Taula 6.4c. Equip de gasificació EQTEC IBERICA**

<b>Fabricant</b>	<b>EQTEC IBERICA</b>
<b>Model</b>	<b>600</b>
<b>Gasificador</b>	
Biomassa a utilitzar	<b>qualsevol</b>
Tipus de gasificador	<b>a contracorrent (updraft)</b>
Tipus de llera	<b>mòbil</b>
Temperatura d'operació (°C)	1300
Cabal de gas pobre (Nm <sup>3</sup> /kg biomassa)	2,1
Agent gasificant	aire
Pressió	atmosfèrica
Max. hores anuals (h)	8.000
Capacitat de biomassa <sup>1</sup> (kg/h)	447
Granulometria biomassa (cm.)	<b>0,2 – 1,5</b>
<b>Motor-generador</b>	
Cicle termodinàmic	Diesel
Pot. elèctrica max. bruta (kW)	600
Pot. elèctrica max. neta (kW)	546
Rendiment elèctric (%)	
Pot. tèrmica max. bruta (kW)	750
Rendiment tèrmic (%)	30,2
Generació elèctrica (KWhe/KG biomassa)	1,34
Generació tèrmica (KWhe/KG biomassa)	1,67
<b>Consum i personal</b>	
Dedicació de personal (operaris/torn)	1
Autoconsum elèctric (kW)	54
<b>Despeses</b>	
Operació i manteniment (€/kWh)	0,021
Rendiment tèrmic global (%)	33,6

Font: EQTEC IBERICA (Barcelona).

**Taula 6.4d. Equip de gasificació TAIM WESER**

<b>Fabricant</b>	<b>TAIM WESER</b>
<b>Model</b>	
<b>Gasificador</b>	
Biomassa a utilitzar	<b>qualsevol</b>
Tipus de gasificador	<b>a corrents paral·leles (downdraft)</b>
Tipus de llera	<b>mòbil</b>
Temperatura d'operació (°C)	1200
Cabal de gas pobre (Nm <sup>3</sup> /kg biomassa)	2,2
Agent gasificant	aire
Pressió	atmosfèrica
Max. hores anuals (h)	7.000
Capacitat de biomassa <sup>1</sup> (kg/h)	650-750
Granulometria biomassa (cm.)	<b>0,2 - 10</b>
<b>Motor-generador</b>	
Cicle termodinàmic	Diesel
Pot. elèctrica max. bruta (kW)	750
Pot. elèctrica max. neta (kW)	675
Rendiment elèctric (%)	25
Pot. tèrmica max. bruta (kW)	1200-1400
Generació elèctrica (KWhe/KG biomassa)	1
Generació tèrmica (KWhe/KG biomassa)	2
<b>Consum i personal</b>	
Dedicació de personal (operaris/torn)	1
Autoconsum elèctric (kW)	75
<b>Despeses</b>	
Operació i manteniment (€/kWh)	0,019
Rendiment tèrmic global (%)	50

Font: TAIM WESER (Saragossa).

## 6.5 Càlculs

### 6.5.1 Càlcul del poder calorífic de la biomassa

El poder calorífic és una de las propietats més importants de la biomassa per al càlculs del sistemes d'aprofitament energètic.

El poder calorífic es defineix com la energia que es desprèn en la combustió completa d'una unitat de massa o de volum del combustible. Aquesta definició presenta un inconvenient i és que en l'energia despresa en la combustió s'hi comptabilitza l'energia invertida en calor latent en la condensació del vapor d'aigua líquid a gasós. Aquesta és difícilment aprofitable i des del punt de vista tècnic ens interessa saber quina és la calor aprofitable. És per això que s'ha definit dos conceptes derivats del poder calorífic: el poder calorífic superior (PCS) i el poder calorífic inferior (PCI).

El PCS, Poder Calorífic Superior, és el calor produït realment en la reacció de combustió completa d'una unitat de massa o de volum de combustible.

Hi ha moltes fórmules empíriques i semi-empíriques proposades per a estimar el PCS en sec a partir de l'anàlisi composicional. En aquest document s'emprarà la fórmula proposada per S.A Channiwala, 1992 ajustada a partir de l'anàlisi composicional en pes de diferents combustibles, entre ells la biomassa. S'ha demostrat que l'error és inferior al  $\pm 1,45\%$  per a un 90% de prediccions.

$$PCS = 0,3491 \cdot C + 1,1783 \cdot H - 0,1034 \cdot O - 0,0211 \cdot A + 0,1005 \cdot S - 0,0151 \cdot N \quad MJ/Kg$$

On     C = percentatge de massa de carboni.

         H = percentatge de massa de l'hidrogen.

         O = percentatge de massa de l'oxigen.

         A = percentatge de massa de cendres en la combustió total.

         S = percentatge de massa de sofre.

         N = percentatge de massa de nitrogen.



El PCI, Poder Calorífic Inferior, és el calor realment aprofitable, el produït en la reacció de combustió completa d'una unitat de massa o de volum de combustible sense aprofitar la energia de la condensació de l'aigua i altres processos de menor importància.

La humitat juga un paper molt important en el PCI de la fusta com a combustible. La fusta seca, conté valors compresos entre el 5% i el 25% que varien amb la humitat de l'aire i la temperatura ambiental. La influència de la humitat de la fusta sobre el poder calorífic es pot representar globalment per la fórmula següent:

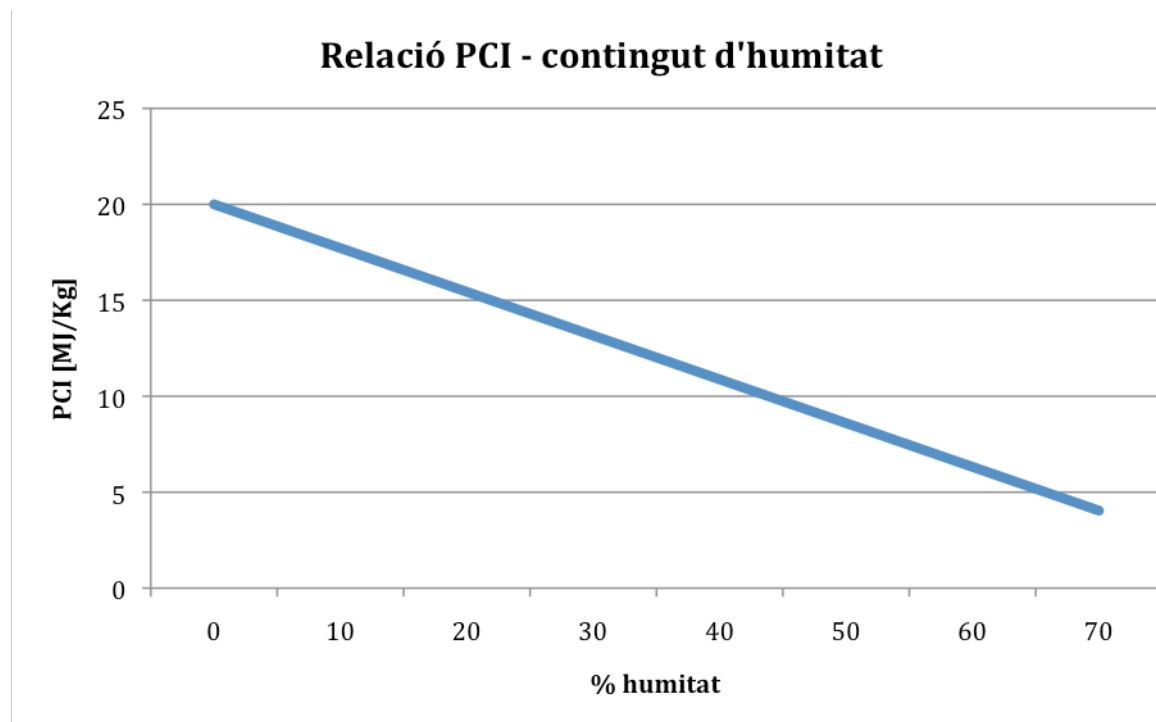
$$PCI_h = PCS \cdot (1 - 1,14 \cdot h) \quad MJ/Kg$$

$h$  = contingut d'humitat en fracció de massa.

PCS = Poder Calorífic Superior en MJ/Kg.

Es tracta d'una relació lineal en que el PCI disminueix paulatinament a mesura que augmenta la humitat. Per visualitzar millor aquesta relació es representa un gràfic del PCI en funció del contingut d'humitat.

**Gràfic 6.6.1. Relació PCI – contingut d'humitat**



Font: elaboració pròpia a partir de dades del llibre en francès.

#### 6.5.1.1 Càlcul del PCI dels residus de fusta

Per a poder calcular el PCI ens caldrà definir el grau d'humitat al que es troba el residu de fusta.

En la indústria de primera transformació, la fusta és prèviament assecada fins a una humitat del 15% abans de ser serrada. Com que els residus i subproductes que s'empraran com a combustible són generats en la fase de serrat i ja han passat el procés d'assecat, es considera un contingut d'humitat de la fusta al 15%.

Pel que fa a la composició de la fusta es prendran els valors de l'anàlisi elemental de la composició de la fusta de *Pinus sylvestris* (% massa en base seca) de l'apartat **6.3.2 La fusta i derivats de *Pinus sylvestris***.

$$PCS = 20,144 \text{ MJ/Kg}$$

$$PCI_{0,15} = 16,699 \text{ MJ/Kg}$$

#### 6.5.1.2 Càlcul del PCI del residu d'escorça

L'extracció de l'escorça és un dels primers processos a que es sotmet el tronc i es realitza abans de l'assecat. De no fer-ho així l'assecat resulta molt més costós, el calor necessari és més gran i un cop assecada, l'escorça s'adhereix al càmbium resultant l'extracció més laboriosa. En cas de ser aprofitada l'escorça s'asseca per separat un cop serrada del tronc, el grau d'humitat al que s'asseca depèn de l'ús final, nosaltres considerarem que s'asseca fins al 15% d'humitat.

L'escorça té com a característica la facilitat l'absorció o cessió d'aigua amb el medi per tal d'equilibrar la humitat amb aquest. No seria prudent considerar que el grau d'humitat de l'escorça al moment d'entrar al gasificador sigui igual al grau d'humitat després de l'assecat. Es considera que la escorça ha recobrat aigua i que la humitat a la que la disposem és del 20%.

Pel que fa a la composició de l'escorça es prendran els valors de l'anàlisi elemental de la composició de l'escorça de l'apartat 6.3.2 L'escorça de *Pinus sylvestris*.

$$PCS = 21,975 \text{ MJ/Kg}$$

$$PCI_{0,20} = 16,965 \text{ MJ/Kg}$$

### 6.5.1.3 PCI del conjunt de la biomassa

A l'apartat 2.2.2.4 *Massa total de residus generats*, s'ha estimat que el 15% en pes de biomassa prové del residu d'escorça i el 85% restant prové del residu de fusta. Si bé el PCI d'ambdós materials es molt semblant, es ponderarà l'aport de PCI de cada un dels combustibles. El càlcul es realitza partir de la fracció màssica dels diferents materials i el seu PCI segons la relació:

$$PCI_{biomassa} = 0,8105 \cdot PCI_{fusta} (kJ/kg) + 0,1895 \cdot PCI_{escorça} (kJ/kg) \quad kJ/kg$$

Fent els càlculs ens dona que el PCI del conjunt de residus de biomassa a gasificar és:

$$PCI_{biomassa} = 16,749 \text{ KJ/Kg}$$

### 6.5.2 Composició i càlcul del PCI del gas de síntesi

La composició s'obté a partir de les dades obtingudes en la planta experimental de GASBI S.L. Es tracta d'una planta model RG-100 amb la mateixa tecnologia i les mateixes condicions de treball que els gasificador comercials de GASBI. Per a més informació veure la referència (11).

El combustible utilitzat és una barreja d'escorça i residus de fusta de petita mida, la naturalesa comú dels combustibles proporcionen un gas de composició molt similar entre sí. Aquestes són les condicions més similars a les que es donaran a l'empresa tipus de que se'n té dades i per tant es prendran com a referència de composició del gas de síntesi obtingut.

La composició mitja en volum i el PCI del gas de sortida després d'haver passat pel sistema de filtrat és el següent:

**Taula 6.5.2. Composició del gas de síntesi.**

Element	PCI element (kJ/Nm <sup>3</sup> )	% en volum	PCI · % volum (kJ/Nm <sup>3</sup> )
CO <sub>(g)</sub>	12.655	21	2657,55
CO <sub>2(g)</sub>	0	10	0
CH <sub>4(g)</sub>	35.825	1	358,25
H <sub>2(g)</sub>	10.770	15	1615,50
N <sub>2(g)</sub>	0	48	0
O <sub>2(g)</sub>	0	0	0
H <sub>2</sub> O <sub>(l,g)</sub>	0	0	0
Altres <sup>1</sup>	0	5	0
<b>Total gas de síntesi</b>		100	4631,30

Font: elaboració pròpia i GASBI (11).

<sup>1</sup> No es disposa cap més dada sobre els altres components. Altres anàlisi elementals del gas pobre indiquen la presència de components en proporció minoritària tals com el Sulfur d'hidrogen, l'Òxid nítric, el vapor d'aigua i substàncies volàtils.

El PCI del gas pobre s'ha calculat com un sumatori de les fraccions en volum de cada un dels elements pel seu PCI en condicions estequiomètriques d'oxigen.

$$PCI_{gas\ pobre} = 4.631,3 \text{ kJ/Nm}^3$$

### 6.5.3 Càlcul de la potència disponible en la biomassa

El càlcul de la potència disponible és necessari per conèixer el màxim d'energia per unitat de temps que pot produir la biomassa, la quantitat total d'energia produïda i avaluar el rendiment i eficiència del procés de conversió energètica.

La potència disponible es determina com a producte del PCI en kJ/kg pel flux màssic en kg/s. Aquest darrer valor l'obtenim a partir del flux màssic en kg/h aplicant-hi un factor de conversió per passar d'hores a segons.

$$P_{biomassa} = PCI_{biomassa} (\text{kJ/kg}) \cdot fl_{u\text{màssic}} (\text{kg/s}) \quad \text{kW}$$

El PCI del conjunt de la biomassa és de 16.738 kJ/Kg. Pel que fa al flux màssic o quantitat de residus per unitat de temps:

**Taula 6.6.3. Flux màssic de biomassa**

	<b>fusta (kg/h)</b>	<b>escorça (kg/h)</b>	<b>total (kg/h)</b>	<b>total(kg/s)</b>
<b>petita</b>	172,25	43,68	215,93	0,05998

Font: elaboració pròpia

El valor de la potència disponible en el flux de biomassa és de  $P_{biomassa} = 1004,62 \text{ kW}$ .

#### 6.5.4 Càlcul de la potència del gas pobre com a combustible

No tota l'energia continguda en la biomassa passa al gas pobre, només una part d'ella ho fa. En el procés de gasificació es produeixen moltes pèrdues fet que fa que la potència que ens brinda el gas pobre sigui molt més petita.

La potència del gas pobre es determina com a producte del PCI en kJ/Nm<sup>3</sup> pel flux volumètric en Nm<sup>3</sup>/s. Aquest darrer valor l'obtenim a partir del flux volumètric en kg/s.

$$P = PCI(kJ/Nm^3) \cdot flux_{volumètric}(Nm^3/s) \quad kW$$

El flux de gas pobre que es disposa és funció de la biomassa gasificada, dades experimentals per als gasificadors de GASBI el situen en 2,6 Nm<sup>3</sup>/kg de biomassa. Partint de la relació anterior i del flux màssic de biomassa calculat en l'anterior apartat s'obté el següent flux volumètric:

$$flux_{volumètric} = 551,27 \text{ Nm}^3/h \Rightarrow 0,15325 \text{ Nm}^3/s$$

El valor de la potència disponible en el flux de gas pobre és de  $P_{gas} = 709,75 \text{ kW}$ .

### 6.5.5 Càlcul de l'eficiència del gasificador

Un important factor determinant de la operativitat i la viabilitat econòmica és la eficiència del gasificador. En els sistemes en que el gas no s'emptra per a la combustió directa sinó en motors de combustió interna es pot definir de la següent manera:

$$\eta_m = \frac{P_{gas}}{P_{biomassa}} \cdot 100 \quad (\%)$$

Substituint amb els valors obtinguts en cada un dels gasificadors obtenim  $\eta_m = 70,64\%$ .

### 6.5.6 Potència subministrada pel motor-generador

La potència subministrada pel conjunt motor-generador no és la mateixa que la disponible en el gas pobre. Les pèrdues són varies, d'entrada per a que es pugui produir la combustió del gas pobre s'hi ha d'afegir un agent gasificant en condicions estequiomètriques i la barreja resultant té un PCI menor.

El grup motor-generador és el responsable íntegre de la producció energètica a partir de la biomassa gasificada. Aquest aprofitament energètic es realitza mitjançant la cogeneració, procediment que aprofita part important de l'energia tèrmica despresada durant la generació elèctrica i que de no aprofitar-se, s'anirà acumulant al motor provocant problemes operatius.

En la cogeneració el motor converteix l'energia química del gas pobre en energia tèrmica dins de la càmera de combustió, aquesta és transformada en energia mecànica pel pistó, tot seguit el generador aprofita l'energia mecànica del motor per moure uns inductors electromagnètics responsables de la generació de l'energia elèctrica. Durant tot el procés es produeixen pèrdues diverses en forma de calor degut a la fricció del pistó, radiació i calor dels gasos d'escapament. Mitjançant un bescanviador de calor, s'extreu el calor generat i s'acumula en una caldera en forma de vapor d'aigua.

Per als càlculs de la potència subministrada es prendran els valors de rendiment del sistema motor-generador proveïts per GASBI i mesurats en la planta experimental RG-100 amb biomassa provinent de residus de fusta.

### 6.5.6.1 Potència elèctrica

Rendiment en potència elèctrica del sistema motor-generador amb gas pobre provinent de residus de fusta:  $\varphi_e = 0,9^{kWh_e/kg \text{ biomassa}}$

El càlcul de la potència elèctrica es realitza de la següent manera:

$$P_e = \varphi_e (kWh_e/kg \text{ biomassa}) \cdot fl \text{ màssic (kg/h)} \quad kW_e$$

$$P_e = 194,34 \quad kW_e \quad \text{potència aprofitable màx. motor: 200,00 kW}_e$$

### 6.5.6.2 Potència tèrmica

Rendiment en potència elèctrica del sistema motor-generador amb gas pobre provinent de residus de fusta:  $\varphi_h = 1,3^{kWh_h/kg \text{ biomassa}}$

El càlcul de la potència tèrmica es realitza de la següent manera:

$$P_h = \eta_h (kWh_h/kg \text{ biomassa}) \cdot fl \text{ màssic (kg/h)} \quad kW_h$$

$$P_h = 280,71 \quad kW_h \quad \text{potència aprofitable màx. motor: 280,00 kW}_h$$

### 6.5.6.3 Potència total subministrada i rendiment global del grup motor-generador

La potència total  $P_t$  subministrada pel grup motor-generador s'entén com la suma d'energia elèctrica i tèrmica produïda en unitat de temps.

$$P_t = 194,34 \text{ kW}_e + 280,00 \text{ kW}_h = 474,34 \text{ kW}$$

### 6.5.7 Càlcul de l'eficiència del motor-generador

La eficiència d'un motor es pot entendre de diferents maneres però totes comporten la comparació de l'energia química total continguda en el combustible i l'energia cinètic extreta. Es defineix ls següents eficiències del motor:

- $\eta_e$  (eficiència elèctrica):  $\eta_e = \frac{P_e}{P_{entrada}} \cdot 100 \quad (\%)$
- $\eta_h$  (eficiència tèrmica):  $\eta_{ter} = \frac{P_{ter}}{P_{entrada}} \cdot 100 \quad (\%)$

On:

$P_e$  és la potència elèctrica generada mesurada als borns de l'alternador (kW).

$P_{ter}$  és el total de la potència tèrmica obtinguda (kW).

$P_{entrada}$  potència del gas com a combustible a l'entrada del motor (kW).

Operant ens queda  $\eta_e = 27,37\%$  i  $\eta_h = 39,43\%$ .

Es defineix la eficiència global del motor com la suma de la suma d'eficiència elèctrica i tèrmica  $\eta_t = \eta_e + \eta_h$ .

Operant ens queda  $\eta_t = 66,81\%$ .



## **6.6 Càlcul de la tarifa elèctrica**

### **6.6.1 El règim especial de generació elèctrica**

Podran acollir-se al règim especial de generació elèctrica establert al RD 661/2007 les instal·lacions de producció d'energia elèctrica contemplades a l'article 27.1 de la Llei 54/1997, de 27 de novembre.

En dit article les instal·lacions es classifiquen en grups i subgrups, en funció de les energies primàries empleades i dels rendiments energètics obtinguts, la relació dels quals podem trobar a l'annex II del RD 661/2007.

En el nostre cas la energia primària és biomassa procedent de residus de processos industrials de primera transformació del sector forestal, inclosa a l'annex II de l'esmenta't reial decret i pertany a la següent classificació: b.8.2.

- *Categoria: b.* Instal·lacions que utilitzen com a energia primària alguna de les energies renovables no consumibles, biomassa, o qualsevol tipus de biocarburant, sempre i quant el seu titular no realitzi activitats de producció en el règim ordinari.
- *Grup: 8.* Centrals que utilitzen com a combustible principal biomassa procedent d'instal·lacions industrials.
- *Subgrup: 2.* Centrals que utilitzen com a combustible principal biomassa procedent d'instal·lacions industrials del sector forestal.

### **6.6.2 Estructura de la retribució**

Per la venda de l'energia elèctrica exportada a la xarxa, es pot escollir una de les dues següents modalitats:

- Tarifa regulada: la tarifa consta d'una component principal fixa anomenada tarifa base i una sèrie de complements variables. El preu de venda amb tarifa regulada (PFT) es forma:

$$PFT = Ptr + CR + DH + Cef - Des$$

- Mercat d'energia elèctrica: el preu va seguint la cotització de l'electricitat hora a hora al mercat, incrementat en una determinada prima i una sèrie de complements. La retribució principal és, en aquest cas, la suma del preu de mercat horari diari (PMD) més una prima (P). La tarifa de venda amb preu de mercat (PFM) es forma:

$$PFM = PMD + P + GP + CR + Cef - Des$$

En qualsevol cas, el productor d'electricitat ha de mantenir-se en la opció escollida fins haver transcorregut 12 mesos des del canvi anterior.

Els preus regulats, les primes de referència i els límits superiors i inferiors es fixen per a cada grup. Hi ha una primera distinció entre la cogeneració i la sola producció elèctrica, després es distingeix atenent al combustible i a la potència instal·lada.

En aquest Projecte es decideix vendre l'energia elèctrica amb tarifa regulada.

#### **6.6.2.1 Complement per energia reactiva (CR)**

Totes les instal·lacions acollides al règim especial, independentment de la opció de venda escollida, rebran un complement per energia reactiva pel manteniment d'uns determinats valors de potència. Aquest complement és un percentatge, en funció del factor de potència amb el que s'entregui la energia, del valor de 7,8441 c€/kWh, que serà revisat anualment.

En el nostre cas, el sistema de regulació i control de producció del generador elèctric ajustarà la producció d'energia reactiva en funció de la demanda de tal manera que la energia reactiva entregada sigui nul·la (factor de potència igual a la unitat).

El factor de potència a tenir en compte, s'estableix a l'annex V del RD 661/2007. A les hores punta es bonifica la generació d'energia reactiva i a les hores vall se'n bonifica la absorció. Per a un factor de potència unitari els complements són els següents:

#### **Taula 6.6.2.1a. Complement potència reactiva**

Factor de potència	Bonificació o penalització (%)		
	Punta	Pla	Vall
fp=1,00	0	4	0

Font: RD 661/2007.

#### **Taula 6.6.2.1b. Discriminació horària**

	Hivern			Estiu		
	punta	pla	vall	punta	pla	vall
Zona 1 (Península)	18-22 h	8-18 i 22-24 h	0-8 h	11-15 h	8-11 i 15-24 h	0-8 h

Font: RD 661/2007.

Suposant un factor de potència igual a 1 durant les 14 h. del dia, tant sols es produeix una bonificació del 4% sobre l'energia produïda en hores pla que suposen a l'hivern 10 h. i l'estiu 9 h. sobre les 14 h. de generació elèctrica, en terme mig les hores pla ascendeixen a 9,5 h. diàries. Suposant potència constant de 94 kW:

$$CR = 0,04 \cdot (9,5/14) \cdot 7,48441 \text{ c €/kWh}$$

$$CR = 0,20314 \text{ c €/kWh}$$

#### **6.6.2.2 Garantia de potència (GP)**

La retribució aproximada és de 2 €/MW de potència instal·lada i per cada hora. Es retribueix a tota la potència neta instal·lada en totes les hores de l'any. Tant sols és d'aplicació a les instal·lacions que venguin la seva electricitat al mercat.

#### **6.6.2.3 Complement per eficiència (CEF)**

El complement per eficiència s'aplica a la electricitat cedida al sistema per a plantes de potència nominal inferior o igual a 100 MW. El complement es calcula segons la següent fórmula:

$$C_{ef} = 1,1 \cdot \left( \frac{1}{REE_{\min}} - \frac{1}{REE_i} \right) \cdot C_{mp} \text{ on:}$$

REEmín: és el rendiment elèctric equivalent mínim per tecnologia. Els valors de REEmín per a cogeneració amb biomassa són:

- Biomassa inclosa als subgrups b.6 i b.8: 30%
- Biomassa inclosa al subgrup b.7.2: 50%

Per a plantes de menys de 1 MW de potència, la exigència es redueix un 10%.

REEi: és el rendiment elèctric equivalent acreditat per a la planta.

Cmp: és el cost de la matèria prima, publicat trimestralment pel Ministerio de Indústria, Turismo y Comercio, actualment té un valor de 1,997 c€/kWh, revisable trimestralment sempre que les variacions del mateix superin el 2% del valor.

El rendiment elèctric equivalent (REE) ve donat per la següent expressió:

$$REE = E / [Q \cdot (V / REF H)]$$

E = Energia elèctrica generada mesurada als borns de l'alternador i expressat en calories, unitats d'energia tèrmica, 1 kWh = 860 kcal.

Q = Consum d'energia primària mesurada pel poder calorífic inferior dels combustibles emprats.

V = Producció de calor útil (kcal).

REF H = Valor de referència del rendiment per a la producció separada de calor. Definit a la Directiva 2004/8/CEE, en el nostre cas Ref H = 60%.

El REE obtingut és de 36%, superior al REE mínim del subgrup per a ser considerats cogeneradors. El complement per eficiència queda de la següent manera:

$$Cef = 1,1 \cdot \left( \frac{1}{30} - \frac{1}{36} \right) \cdot 1,997 = 1,2204 \text{ c €/kWh}$$

#### **6.6.2.4 Discriminació horària (DH)**

Les instal·lacions de cogeneració i producció que hagin escollit cedir la seva producció elèctrica al distribuïdor, és a dir, a tarifa fixa, poden acollir-se al règim de discriminació horària que defineix horaris punta de 11 a 21 h. a l'estiu i de 12 a 22 h. a l'hivern, corresponent a les hores vall la resta d'hores del dia.

La quantitat a percebre per la electricitat en hora punta serà la que correspongui segons la tarifa multiplicada per 1,0462, és a dir, un 4,62% d'increment. Per a la electricitat basada en hores vall, la tarifa es multiplicarà per 0,967, és a dir, un 3,3% de descompte.

En aquest Projecte es decideix no acollir la venda d'electricitat al règim de discriminació horària.

#### **6.6.2.5 Desviaments (DES)**

Els desviaments són les diferències entre la energia que es programa vendre i la que realment s'entrega a la xarxa.

Les instal·lacions que optin per la tarifa regulada realitzaran la venda de la seva energia a través del sistema d'ofertes gestionat per l'operador de mercat, als efectes quantitatius dels desviaments d'energia, realitzant ofertes de venda d'energia a preu zero en el mercat diari.

#### **6.6.3 Tarifes regulades i primes**

Les tarifes i primes de referència que són d'aplicació a la electricitat exportada per plantes de cogeneració que utilitzen biomasses com a combustibles, estan especificades a l'Article 35 apartat 3 del RD 661/2007, que discrimina per tipus de combustible, potència d'entrada màxima i antiguitat de la planta.

**Taula 6.6.3. Retribució de l'electricitat produïda per cogeneració amb biomassa**

Subgrup	Potència	Plaç	Tarifa regulada c€/kWh	Prima de referència c€/kWh
b.8.1	P < 2 MW	Primers 15 anys	12,7998	8,4643
		A partir de llavors	8,6294	0,0000
	P > 2 MW	Primers 15 anys	10,9497	6,3821
		A partir de llavors	8,2128	0,0000
b.8.2	P < 2 MW	<b>Primers 15 anys</b>	<b>9,4804</b>	<b>5,1591</b>
		<b>A partir de llavors</b>	<b>6,6506</b>	<b>0,0000</b>
	P > 2 MW	Primers 15 anys	7,1347	2,9959
		A partir de llavors	7,1347	0,0000
b.8.3	P < 2 MW	Primers 15 anys	9,4804	5,4193
		A partir de llavors	6,6506	0,0000
	P > 2 MW	Primers 15 anys	9,3000	4,9586
		A partir de llavors	7,5656	0,0000

Font: elaboració pròpia a partir del RD 661/2207.

#### 6.6.4 Retribució per la venda d'energia

Després de tenir en compte tots els complements, el preu de venda amb tarifa regulada queda de la següent manera:  $PFT = P_{tr} + C_{ef} + CR$  (c€/kWh)

Primers quinze anys:  $PFT = 9,4804 + 1,2204 + 0,20314 = 10,9039 \text{ c €/kWh}$

A partir de llavors:  $PFT = 6,6506 + 1,2204 + 0,2031 = 8,0741 \text{ c €/kWh}$

#### 6.6.5 Actualitzacions i revisions de preus i primes

##### 6.6.5.1 Actualitzacions

En general, els imports de les tarifes, primes, complements i límits per a la biomassa s'actualitzen anualment segons l'IPC menys el 0,25 % fins al 31 de desembre del 2012 i 0,50 % a partir de llavors.

##### 6.6.5.2 Revisions

Durant l'any 2010, segons el grau de compliment del Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010 així com dels nous objectius que s'incloguin al següent Plan de

Energías Renovables per al període 2011-2020, es revisaran les tarifes, primes, complements i límits inferiors i superiors.

Una revisió de tarifes té efectes tant sòls sobre les plantes que s'hagin posat en marxa a partir de l'1 de gener de l'any subsegüent a la publicació de la revisió.